



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ARQUITECTURA

Propuesta de prototipo de bioconstrucción con el uso de fibras vegetales de
cebada del cantón Colta.

Trabajo de Titulación para optar al título de Arquitecto

AUTOR:

Sagñay Poma Antony Fernando

TUTOR

Mgs. Arq. Nathalie Santamaría

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo **Antony Fernando Sagñay Poma** con C.I. **1850376631**, estudiante de la carrera de **Arquitectura**, declaro que el presente trabajo titulado “**Propuesta de prototipo de bioconstrucción con el uso de fibras vegetales de cebada del cantón Colta**” corresponde a mi autoría intelectual siendo el resultado de un desarrollo, investigación, análisis personal.

De igual manera, afirmo que este proyecto de investigación es original y que en ella se han establecido de manera clara y precisa las fuentes utilizadas, citadas de manera correcta los conceptos y referencias de otros autores e instituciones que han contribuido al contenido de este documento.

Por lo tanto, asumo la total responsabilidad del contenido de este documento, siendo responsable de cualquier situación que pueda comprometer la originalidad o autenticidad del mismo.

Riobamba, 07 de noviembre de 2024



Antony Fernando Sagñay Poma

1850376631

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

En la Ciudad de Riobamba, a los 22 días del mes de Julio de 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante **ANTONY FERNANDO SAGÑAY POMA** con CC: **1850376631**, de la carrera **ARQUITECTURA** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado **“PROPUESTA DE PROTOTIPO DE BIOCONSTRUCCIÓN CON EL USO DE FIBRAS VEGETALES DE CEBADA DEL CANTÓN COLTA”**, por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



firmado electrónicamente por:
NATHALIE MADELEINE
SANTAMARIA HERRERA

Mgs. Arq. Nathalie Madeleine Santamaria Herrera
TUTOR(A)

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**PROPUESTA DE PROTOTIPO DE BIOCONSTRUCCIÓN CON EL USO DE FIBRAS VEGETALES DE CEBADA DEL CANTÓN COLTA**” presentado por **Antony Fernando Sagñay Poma**, con cédula de ciudadanía número **1850376631**, bajo la tutoría de **Arq. Nathalie Santamaría**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de sus autores; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba el 20 de noviembre de 2024.

Arq. Héctor Cepeda, Mgs.

PRESIDENTE DELEGADO DEL TRIBUNAL

Handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the bottom, positioned above a horizontal line.

Arq. Paul García, Mgs.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Handwritten signature in blue ink, featuring a large circular loop at the top and a long horizontal stroke at the bottom, positioned above a horizontal line.

Arq. Jean Carlos Montero, Mgs.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Handwritten signature in blue ink, with a large circular loop at the top and a long horizontal stroke at the bottom, positioned above a horizontal line.

CERTIFICADO ANTI PLAGIO

Que, **SAGÑAY POMA ANTONY FERNANDO** con cc: **1850376631**, estudiante de la carrera **ARQUITECTURA**, facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**PROPUESTA DE PROTOTIPO DE BIOCONSTRUCCIÓN CON EL USO DE FIBRAS VEGETALES DE CEBADA DEL CANTÓN COLTA**", cumple con el **7%**, de acuerdo al reporte del sistema antiplagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 8 de noviembre de 2024



EL FIRMANTE ELECTRONICO CORRESPONDE A:
**NATHALIE MADELEINE
SANTAMARIA HERRERA**

Mgs. Arq. Nathalie Madeleine Santamaría Herrera
TUTORA

DEDICATORIA

Este presente trabajo de investigación está dedicado para mis padres, quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional. A mis hermanos, tíos, primos, por ser mi refugio en los momentos difíciles y mi alegría constante. A mis amigos, por recordarme siempre que los sueños se logran con trabajo, pero también con risas y momentos compartidos.

Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la honestidad y la perseverancia. Su confianza en mí, me motivó a seguir adelante, incluso cuando las metas parecían inalcanzables.

Finalmente, dedico este esfuerzo a la persona que fui al inicio de este camino, a aquella versión de mí mismo que soñaba con este momento. Hoy celebro el valor de no rendirme, porque todo sacrificio valió la pena.

¡Gracias por su apoyo, paciencia y por estar a mi lado en cada etapa de este viaje!

AGRADECIMIENTO

Este proyecto no solo representa un logro académico, sino también un viaje lleno de aprendizajes, desafíos y sueños. Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este momento tan especial.

A mis padres, por su amor incondicional, su fe en mí y su apoyo incansable. Gracias por ser mi guía, mi fuerza y mi inspiración constante. Su ejemplo me ha enseñado que los sueños se alcanzan con dedicación y perseverancia. A mi familia, por estar siempre presente, brindándome palabras de aliento y recordándome que las raíces de mi esfuerzo nacen del amor.

A la arquitectura, de la mano con mi querida tutora, Arq. Nathalie Santamaria, por enseñarme a mirar el mundo de una forma distinta, a entender que cada línea, cada espacio y cada decisión tiene el poder de transformar vidas y construir historias. Las enseñanzas no solo han moldeado mi visión profesional, sino también mi carácter.

A mis amigos, por ser mi equipo de apoyo en los momentos difíciles, por las horas interminables compartidas en talleres y por las risas que iluminaron los días más desafiantes. Su compañía hizo este camino mucho más llevadero y especial.

Agradezco a la vida por las oportunidades, los obstáculos superados y las lecciones aprendidas. Este trabajo es el reflejo de un esfuerzo colectivo y de un sueño que, paso a paso, se ha convertido en realidad.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTI PLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESÚMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Antecedentes	15
1.2. Problemática	16
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo General	18
1.3.2. Objetivos Específicos	18
1.4. Justificación	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Bioconstrucción	19
2.1.1 Arquitectura bioclimática	19
2.1.2 Construcción sostenible	20
2.1.3 Fibras naturales	22
2.1.4 Fibras vegetales de cereales	23
2.2 Construcción con fibras vegetales de cereales	24
2.2.1 Fardos de paja	25
2.2.2 Origen de la construcción con fardos de paja	26
2.2.3 Evolución de la construcción con fardos de paja	27
2.2.4 Factibilidad de la construcción con fardos de paja	29
2.2.5 Normativas de la construcción con fardos de paja	30
2.2.6 Colaboraciones institucionales	31
2.3 Sistemas constructivos de fibras vegetales	31
2.3.1 Propiedades técnicas de las fibras vegetales	31

2.3.2	Sistema de muros autoportantes o técnica Nebraska	33
2.3.3	Sistema poste – viga	34
2.3.4	Sistema GREB (Grupo de Investigaciones Ecológicas de la Bahía)	35
2.3.5	Sistema CUT (Células Bajo Tensión)	36
2.3.6	Sistema de Paja Encofrada	37
2.3.7	Sistema de Quincha Seca	38
2.3.8	Sistema de Quincha Húmeda	39
2.3.9	Sistema Prefabricado Modular	40
2.3.10	Comparación de sistemas constructivos de fibras vegetales	41
2.4	Análisis de referentes	42
2.4.1	Referente Nacional BioHogar	42
2.4.2	Referente Internacional Okambuva	46
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		52
3.1	Enfoque	52
3.2	Método	52
3.3	Tipo de investigación	53
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		54
4.1	Análisis del lugar	54
4.1.1	Antecedentes históricos del lugar	54
4.1.2	Ubicación del cantón Colta	54
4.1.3	Topografía	54
4.1.4	Clima	55
4.1.5	Usos de suelo	56
4.2	Análisis de producción de fibras de cebada	58
4.2.1	Climas de producción de cultivos de cebada	58
4.2.2	Suelos de producción de cultivos de cebada	59
4.2.3	Procesos de producción de fibras de cebada	60
4.3	Arquitectura vernácula del cantón Colta	63
4.3.1	Arquitectura vernácula andina	63
4.3.2	Arquitectura vernácula local	64
4.3.3	Edificaciones vernáculas en zonas de cultivo de cebada	67
4.4	Propuesta de prototipo de bioconstrucción.	71

4.4.1	Materiales del prototipo -----	71
4.4.2	Proceso constructivo -----	74
4.4.3	Resultado de prototipo prefabricado-----	79
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----		80
5.1	 Conclusiones -----	80
5.2	 Recomendaciones -----	81
BIBLIOGRAFÍA -----		82
ANEXOS -----		84
1.1	 Construcción del prototipo de bioconstrucción prefabricado.-----	84
1.1.1	Preparación del Área de Trabajo -----	84
1.1.2	Construcción del marco de madera -----	85
1.1.3	Inserción de los Fardos de Paja-----	87
1.1.4	Fijación de la Escalerilla Inferior -----	88
1.1.5	Afeitado y terminado -----	88
1.2	 Aplicación de módulos prefabricados en caso de estudio -----	90
1.2.1	Proyecto arquitectónico con módulos prefabricados. -----	90
1.2.2	Rubros de precios unitarios por módulo prefabricado. -----	95
1.2.3	Presupuesto de construcción con módulos prefabricados.-----	97
1.3	 Aplicación de fardos de paja (técnica Nebraska) en caso de estudio. -----	97
1.3.1	Proyecto arquitectónico con fardos de paja. -----	98
1.3.2	Rubros de precios unitarios por fardo de paja. -----	102
1.3.3	Presupuesto de construcción con fardos de paja. -----	103
1.4	 Análisis comparativo de presupuestos de sistemas prefabricado, portante y contemporáneo. -----	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas de solución de la arquitectura vernácula.....	16
Figura 2: Desencadenamiento de la industrialización de la construcción.....	17
Figura 3: Evolución de las enfardadoras de paja.....	27
Figura 4: Evolución de la construcción con fardos de paja.....	29
Figura 5: Características constructivas de los fardos de paja.....	30
Figura 6: Partes de conexión de muro portante de fardos de paja.....	33
Figura 7: Compresión de fardos mediante tensores.....	34
Figura 8: Elementos de un muro poste – viga.....	35
Figura 9: Técnica GREB casa de paja en Vacarisses.....	36
Figura 10: Montantes sistema CUT.....	37
Figura 11: Sistema de paja encofrada.....	38
Figura 12: Relleno de paja en tabiquería.....	39
Figura 13: Relleno de paja húmeda o embebida en tabiquería.....	40
Figura 14: Prefabricado de paja y tabiquería de madera.....	41
Figura 15: Características de los fardos.....	43
Figura 16: Detalles de uniones de cimentación, muro y viga superior.....	45
Figura 17: Detalles de uniones de muro, vanos y cubierta.....	46
Figura 18: Elementos que componen los prefabricados Okambuva.....	48
Figura 19: Muros prefabricados - alfaWALL.....	49
Figura 20: Dinteles y antepechos prefabricados - alfaWALL.....	50
Figura 21: Mapa topográfico y altitudes del cantón Colta.....	55
Figura 22: Mapa de usos de suelos del cantón Colta.....	57
Figura 23: Mapa de cultivos de cantón Colta.....	60
Figura 24: Estados y procesos de cultivos de cebada.....	61
Figura 25: Ubicación de las edificaciones vernáculas en zonas de cultivo de cebada del cantón Colta.....	67
Figura 26: Levantamiento actual de planta arquitectónica de caso de estudio.....	68
Figura 27: Levantamiento actual de elevaciones de caso de estudio.....	69
Figura 28: Levantamiento actual de secciones de caso de estudio.....	70
Figura 29: Prensa hidráulica.....	75
Figura 30: Ensamblaje de escalerillas laterales a escalerilla superior.....	76
Figura 31: Montaje de fardos de paja.....	77
Figura 32: Compresión de fardos.....	78
Figura 33: Prototipo terminado.....	78
Figura 34: Resultado del módulo de prototipo prefabricado.....	79
Figura 35: Fardos de paja y listones de madera.....	84
Figura 36: Tornillería y herramientas.....	85
Figura 37: Proceso de armado de escalerillas.....	85
Figura 38: Escalerillas armadas.....	86
Figura 39: Unión de escalerillas laterales con superior.....	86
Figura 40: Platinas y pernos en uniones de escalerillas.....	87
Figura 41: Colocación de fardos de paja.....	87

Figura 42: Prensa manual de compresión.	88
Figura 43: Fijación de escalerilla inferior.	88
Figura 44: Podado manual de fardos.	89
Figura 45: Fardos podados.	89
Figura 46: Prototipo terminado.	90
Figura 47: Módulos prefabricados aplicados en planta arquitectónica de caso de estudio.	91
Figura 48: Módulos prefabricados aplicados en elevaciones de caso de estudio.	92
Figura 49: Secciones de módulos prefabricados aplicados en caso de estudio.	93
Figura 50: Visualizaciones 3D de módulos prefabricados aplicados en caso de estudio.	94
Figura 51: Fardos de paja aplicados en planta arquitectónica de caso de estudio.	99
Figura 52: Fardos de paja aplicados en elevaciones de caso de estudio.	100
Figura 53: Detalles de fardos paja aplicados en caso de estudio.	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de sistemas constructivos de fibras vegetales.	42
Tabla 2. Ficha técnica de los paneles prefabricados Okambuva	50
Tabla 3. Aplicación de metodología.	52
Tabla 4. Temperatura media y anual del cantón Colta.	56
Tabla 5. Tipos de suelos y sus características del cantón Colta.	57
Tabla 6. Variación de medidas de los fardos.	71
Tabla 7. Listones en escalerilla superior.	72
Tabla 8. Listones en escalerilla inferior.	73
Tabla 9. Listones en escalerilla lateral izquierda.	73
Tabla 10. Listones en escalerilla lateral derecha.	74
Tabla 11. Rubro de precios unitarios por módulo prefabricado.	95
Tabla 12. Rubro de instalación por modulo prefabricado.	96
Tabla 13. Rubro de transporte por modulo prefabricado.	96
Tabla 14. Presupuesto de construcción con módulos prefabricados.	97
Tabla 15. Rubro de precios unitarios por fardo de paja.	102
Tabla 16. Rubro de instalación por fardo de paja.	102
Tabla 17. Rubro de transporte de fardos de paja.	103
Tabla 18. Presupuesto de construcción con fardos de paja.	103
Tabla 19. Presupuestos de construcción con mampostería tradicional.	104

RESÚMEN

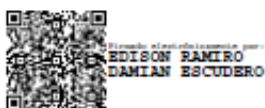
Esta investigación y propuesta de bioconstrucción se centra en buscar una alternativa constructiva a través del uso de fibras vegetales de cebada del cantón Colta, provincia de Chimborazo. El objetivo principal de la propuesta de este sistema, es abordar y solucionar los problemas habitacionales actuales presentes en las edificaciones de la zona, para los cuales se establece una investigación descriptiva, experimental y demostrativa que permita establecer una solución eficiente y ecológica para la construcción de un panel modular prefabricado, el cual, está conformado por un armazón de madera estructural relleno de fardos de paja de cebada prensada que contiene propiedades técnicas con una densidad mínima de 110 kg/m^3 , que genera características estructurales con una resistencia de 1.000 kg/m^2 , una conductividad térmica entre $0,045 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ y $0,0645 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, una resistencia al fuego de hasta 120 minutos y un aislamiento acústico de 49 dB. Sin embargo, al ser un prototipo prefabricado, contiene un proceso de construcción técnico, el cual representa un costo mayor en comparación con sistema autoportante o técnica Nebraska, esto genera una búsqueda de alianzas estratégicas con entidades públicas y privadas para impulsar su producción a gran escala de estos prefabricados que buscan solucionar los problemas de viviendas de la zona.

Palabras clave: Arquitectura vernácula, bioconstrucción, fardos de paja, paneles prefabricados.

ABSTRACT

This research and proposal for bioconstruction focuses on finding a constructive alternative through the use of plant fibers from barley in the Colta canton, Chimborazo province. The main objective of this system's proposal is to address and solve the current housing problems present in the building areas. To achieve this, a descriptive, experimental, and demonstrative investigation is established to provide an efficient and ecological solution for the construction of a prefabricated modular panel. This panel consist of a structural wooden frame filled with bales of compressed barley straw, which has technical properties with a resistance of 500 kg per linear meter and a thermal conductivity of 0.045 W/m[°]K. However, this prototype has a significant disadvantage; it represents a higher cost compared to self-supporting systems or the Nebraska technique. This leads to a search for strategic alliances with public and private entities to promote the large-scale production of these prefabricated modules aimed to solving the housing issues in the area.

Keywords: Vernacular architecture, straw bales, prefabricated panels



Reviewed by:
MsC. Edison Damian Escudero
ENGLISH PROFESSOR
C.C.0601890593

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Colta, ubicado en la provincia de Chimborazo, es actor de sucesos históricos y culturales no solo a nivel local sino también a nivel nacional, es caracterizado por su arquitectura indígena con técnicas de construcción que involucra elementos culturales y ambientales. Así, según (Carvalho, 2015) esta arquitectura andina “es muestra de mutaciones producidas por la pérdida de la identidad cultural, provocando el remplazo por materiales industrializados, haciendo que los tradicionales vayan desapareciendo paulatinamente”, han generado que estas nuevas formas de habitar no respondan a la necesidad de crear espacios confortables en su población y que por el contrario han provocado problemas ambientales, de salud, pérdida de costumbres y tradiciones locales.

Por ello, es necesario generar alternativas de construcción eficiente, enfocado en aspectos de seguridad, confort, sostenibilidad ambiental y resistencia, que implique rescatar el modo natural, tradicional y tecnificado de establecer un hábitat propio, evitando así el constante desarrollo de técnicas industrializadas que provocan transformaciones forzadas a diferentes realidades naturales y sociales.

1.1. Antecedentes

En 1896 en Nebraska (EEUU), se registra la primera edificación residencial construida como provisional con fardos de paja, estos elementos son fibras vegetales de origen natural, obtenidas de los grandes campos de cultivo de trigo de la zona que una vez cosechados eran separados el tallo del grano. Sin embargo, fue hasta 1915 que entendieron las propiedades de este elemento como aislante, económico y fácil de trabajar, y se empezaron a replicar varias construcciones con este sistema ayudados en fardadoras. Estos fardos según (Viera, Aguirre, & Monzo, 2020) “se agrupa en forma de bloques rectangulares, aprovechando aproximadamente la mitad de la vegetación que se pueda cosechar de un sembrío” siendo considerado un desecho reutilizable, como principio de una bioconstrucción que se fundamenta con la planificación a partir del sentimiento de edificar, siendo respetuosos con el medio ambiente, con estrategias que permitan utilizar sistemas técnicos que sustituyan los procesos de consumo de energías no renovables.

Además, (Osorno, 2011) en su artículo hacia la bioconstrucción, establece que “se presenta como una guía de pensamiento que busca cambiar el enfoque actual en la arquitectura y brindar soluciones armónicas y sostenibles para las futuras generaciones”. Estos conocimientos tradicionales, representados en la figura 1, nacen del entendimiento de la adaptación al entorno, clima y formas de vida locales, que implica una selección de materiales de construcción, teniendo en cuenta su ciclo de vida y evaluando su impacto ambiental, desde la extracción de los recursos hasta su disposición final.

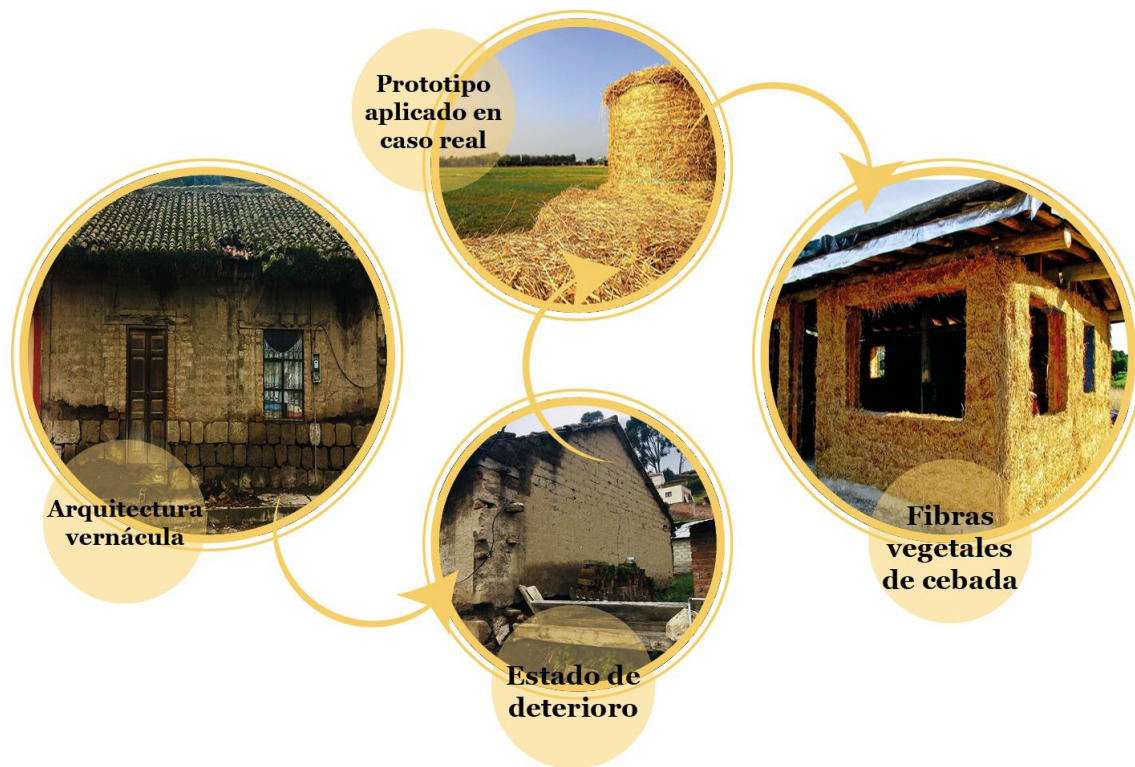


Figura 1: *Etapas de solución de la arquitectura vernácula.*

Fuente: (Sagñay, 2024)

Estas estrategias pasivas permiten lograr una gestión del suelo que provoque un hábitat saludable, siendo responsables y consecuentes con la utilización de estos recursos. Este principio constructivo natural, nace del análisis y aplicación de materiales existentes en el entorno, con técnicas constructivas respetuosas en la naturaleza, estableciendo un balance entre los habitantes, lo edificado y la naturaleza, de manera que integre la salud con la sostenibilidad y la bioclimática.

1.2. Problemática

La industrialización de materiales para la construcción, provocan emisiones de carbono en la producción de los elementos de construcción, partiendo de la extracción de materia prima, su elaboración, posterior aplicación, transporte y posterior destrucción al final de su vida útil, son factores que aumentan esta contaminación. Así establece la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2018) que “existe un 40% de impacto directo e indirecto, generando un consumo de recursos no renovables de hasta 2 toneladas por cada metro cuadrado”, considerando el área de construcción como una de las fábricas de mayor contaminación en la contemporaneidad a nivel mundial. Además, según (García & Perdomo, 2020) establecen contaminantes adicionales como “el consumo de energía no renovable en un 40%, la extracción de materia prima en un

30%, residuos de construcción en un 25%, desperdicio y contaminación del agua en un 25%”. Estos índices, desencadenan una serie de construcciones con alto impacto ambiental, siendo necesario encontrar el camino para minimizar los daños al medio ambiente.

El hormigón como elemento principal de uso masivo en la contemporaneidad, según (Carbon Smart Materials, 2018) el hormigón “está considerado como el mayor responsable de contaminación en la construcción, con un índice del 7% de CO2 a nivel mundial”. Este proceso de industrialización no solo ha provocado una mayor fuente de contaminación sino también, el remplazo de la construcción tradicional por nuevos materiales, provocando el olvido de la identidad cultural y pertenencia constructiva.

Esto ha provocado la pérdida de identidad constructiva, convirtiéndose en uno de los principales factores de abandono, producidos por la salida de pobladores de zonas rurales con destino a las ciudades principales, incitados por la falta de recursos. Así considera (Manrique, 2004), en países andinos sudamericanos como Perú y Ecuador “se observa, desde la década de 1950 que se produjo un quiebre en la relación entre las personas y la economía, producto de un cambio de territorio”. Este fenómeno provocado por la migración hacia las ciudades en progreso, ha desencadenado una crisis en las zonas rurales, generando el devaluó de los oficios que desarrollaban los habitantes en este tipo de construcciones tradicionales. Estos, representado en la figura 2, ha desencadena una serie de mutaciones de los sistemas tradicionales, provocando la apropiación de procesos constructivos ajenos adaptados a diferentes realidades naturales.

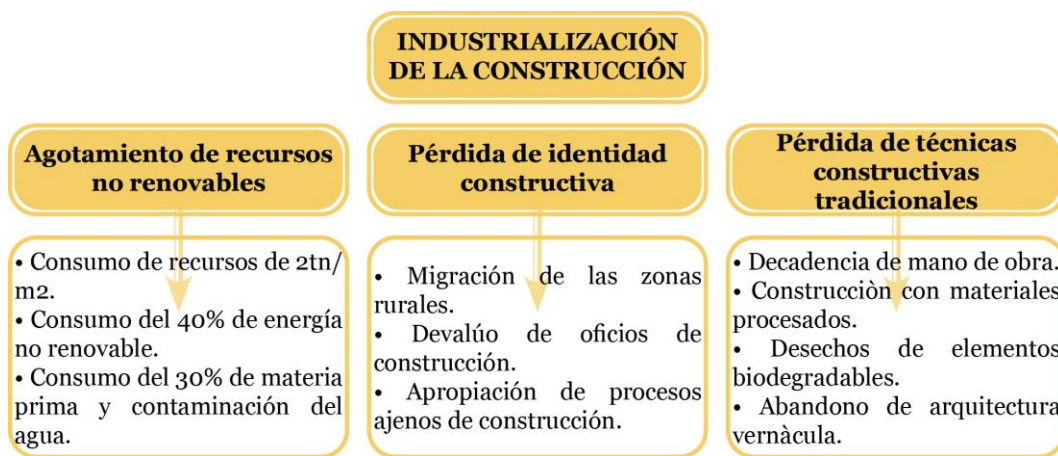


Figura 2: Desencadenamiento de la industrialización de la construcción.

Fuente: (Sagñay, 2024)

La pérdida de técnicas constructivas tradicionales del cantón Colta, ha provocado la decadencia de mano de obra del sector, producto de una falta de capacitaciones de técnicas constructivas y sobre todo una mala remuneración del oficio. Además, los nuevos procesos y materiales de construcción existentes en el mercado como el ladrillo, bloque o elementos prefabricados de hormigón, han generado una inclinación hacia estos procesos por ser más rápidos de consolidarlos y requieren una menor capacitación técnica. Así lo considera

(Carvalho, 2015), quien establece que “la construcción en la sierra andina, es caracterizada por sus edificaciones más simples con materiales propios y la valoración de su cultura local”, ante esto, resulta necesario realizar una revalorización de estas técnicas constructivas propias y potenciarlas con el desecho de la cosecha de la cebada producida en grandes cantidades en esta zona, mediante una correcta aplicación que pueda ser utilizada como recurso para minimizar el abandono de la arquitectura vernácula de esta área rural andina.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Generar una propuesta de prototipo de bioconstrucción con el uso de fibras vegetales de cebada del cantón Colta.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar la evolución de la construcción con fibras vegetales en el Ecuador.
- Investigar el proceso de producción de fibras vegetales de la zona de estudio.
- Analizar referentes que apliquen un sistema de bioconstrucción producido a partir de fibras vegetales.
- Diseñar el prototipo de panel de bioconstrucción con fibras vegetales de cebada del cantón Colta.
- Construir el prototipo de panel a escala con fibras vegetales de cebada del cantón Colta.

1.4. Justificación

El cantón Colta es uno de los territorios con mayor índice de producción agrícola de cebada, cultivados principalmente para el consumo de sus habitantes, los cuales atraviesan por un proceso de selección del grano y posterior desecho del tallo. Es necesario aprovechar estos desechos para establecer un sistema de bioconstrucción, que generen cambios sistemáticos y permita reinterpretar la identidad constructiva a partir de métodos tecnificados.

Este, es un método de rescate y desarrollo para la arquitectura tradicional, ya que permite establecer nuevas alternativas de construcción, caracterizados por poseer un diseño económicamente viable, natural, biodegradable y sobre todo facciones constructivas nativas que potencializan el valor cultural, arquitectónico y constructivo. Evitando así, el constante desarrollo de técnicas industrializadas que intentan responder con transformaciones forzadas a diferentes realidades naturales y sociales. Esto implica rescatar el modo natural, tradicional y tecnificado de generar un hábitat propio, y el cómo forma parte integral de un paisaje cultural.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bioconstrucción

La bioconstrucción permite generar una solución del hábitat humano, se basa en la práctica de técnicas tradicionales y en las culturas propias de la zona, y se alimenta con métodos tecnológicos adecuados. El enfoque es bastante racional, debido a que mantiene un respeto al medio ambiente, debido a que se fundamenta en los logros históricos acumulados. Esta técnica constructiva, provoca un entendimiento del entorno, esto según (Guerreo, 2019) establece como “el alto grado de contaminación ambiental caracterizado por el consumo irracional de recursos y la contaminación natural, genera espacios menos confortables para los habitantes”. Esto se debe en parte, al auge de la Revolución Industrial, con la introducción de nuevos materiales y equipos en la construcción. Hoy en día, aunque estos materiales, tecnologías y equipos han optimizado y mejorado la higiene, el espacio, la seguridad e incluso la creación de una nueva estética, generan efectos que desequilibran la naturaleza, superando la capacidad generacional de las diferentes etapas de la vida.

Además, este tipo de construcción, abarca reflexiones críticas sobre la arquitectura vernácula, que permite entender cómo se puede desarrollar una arquitectura sin arquitectos, así lo establece (Tillería, 2010) que entiende como “cuando el ser humano crea su propio hábitat, no sigue estilos de vida, tampoco representa épocas específicas, ni mucho menos necesita de arquitectos, simplemente moldean sus propios espacios”, siendo aquí, donde la arquitectura moderna nace y surge el interés por la arquitectura en el campo de la construcción. Con la industrialización, comienza la desapropiación de las zonas rurales, empiezan por perderse los oficios, los materiales se transforman y las técnicas tradicionales desaparecen, mientras se adoptan modelos ajenos constructivos, provocando un distanciamiento entre hombre y entorno.

Aunque, por otro lado (Contreras & Segura, 2017) establecen que “la arquitectura vernácula, aunque por lo general se asocia con lo primitivo y bajos recursos, responde a necesidades esenciales como un refugio para el desarrollo de actividades en su entorno”. Ante esto, es necesario entender que aún existen comunidades que preservan durante muchos años su arquitectura tradicional, que en muchos casos es gracias al aislamiento en zonas despobladas. Este tipo de arquitectura representa un objetivo de identidad comunitaria, valorando el modo natural y tradicional en que han forjado su hábitat propio, reflejando así, su integración en el paisaje cultural. Las técnicas tradicionales constituyen no solo dignifican los métodos de conciliación y respeto natural, sino también mirar lo vernáculo como la identidad de un lugar.

2.1.1 Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática implica entender la capacidad que un entorno contiene para promover la vida en relación con organismos vivos específicos que permiten mantener en pie una arquitectura tradicional. Esta, puede ser evaluada considerando diferentes factores, como la

presencia de agua, el entorno (disponibilidad de nutrientes y elementos naturales), el clima (la presencia de una atmósfera adecuada, temperatura, radiación), entre otros. Según (Silvestre, 2014) la arquitectura bioclimática permite “analizar, medir y evaluar los estándares naturales que permitan generar un bienestar, comodidad y la salud a los pobladores que habitan el interior de una edificación”, estos, son principios para una construcción sostenible y bioclimática, que permita habitar un hogar de manera saludable.

La arquitectura bioclimática, según (Gonzalez, 2020) es entender como “el vínculo con el espacio en el que se emplaza una arquitectura, sus materiales de construcción, la orientación, y ventilación perturban la salud, tanto física como psíquica”, considerando que el ser humano se mantiene durante un 90% en espacios limitados, siendo necesario considerar estas percepciones al momento de diseñar los lugares habitables, sin embargo, la poca empatía con el medio natural que se ha conservado en esta última década de desarrollo que ha llevado a una progresiva crisis ambiental de múltiples espacios.

También, el autor (Ruiz, 2020) establece como la bioclimática “nace del estudio de las relaciones naturales que proceden de la tierra, se analizan las emisiones artificiales, que contaminan un ambiente interno”, permite entender a partir de un estudio y análisis, la eficacia de un lugar para poder desarrollar la vida cotidiana en el interior de la edificación.

Sin embargo (García & Perdomo, 2020) establece que “es importante realizarlo de acuerdo con la norma técnica SMB-2015” que permite intervenir una residencia para establecer los controles, se recepta toda la información a través de formularios con la finalidad de establecer una medida más exacta y así poder analizar y establecer según los factores naturales, el riesgo para los espacios de descanso, sueño y trabajo. A partir de estas mediciones se entiende como un valor de bioconstrucción puede ser aplicado para mejorar un ambiente y que para lograr este, es importante analizar las recomendaciones internacionales que actúan de forma coherente para una solución de efectiva.

Así, la bioclimática en la arquitectura implica diseñar áreas que fomenten la buena salud, el bienestar propio y la sostenibilidad de la población que habitan estos espacios. Permite incorporar componentes naturales en un diseño, como luz natural, respeto al entorno y vegetación, para optimizar la calidad de vida de los habitantes e impulsar su bienestar general a través de sistemas eficientes que proporcionen un suministro adecuado para mantener una buena calidad de vida que sea esencial para el bienestar de la población y la sostenibilidad de las edificaciones mediante la selección de materiales de construcción naturales y reciclados.

2.1.2 Construcción sostenible

Generar un profundo respeto y responsabilidad con el medio natural, involucra la edificación una manera sostenible utilizando recursos y materiales no dañinos, que sean saludables y que minimicen los impactos ambientales. Según lo planteado por (Ramírez, 2018), “es fundamental comprender que la construcción de un edificio no se trata simplemente de un cuerpo individual,

sino de su integración en el entorno y su contribución a la formación de ciudades”. Para lograr esto, es crucial utilizar adecuadamente los materiales para la construcción que sean nativos, pero sobre todo idóneos para el medio natural, evitando todos aquellos que sean tóxicos, irradiantes o que provoquen emisiones de gases maliciosos e infecciosos. El uso de bloques cerámicos, piedras naturales, madera reutilizable, fibras, adobe y morteros de alta resistencia en lugar de aplicar hormigón armado con cuantiosa cantidad de hierro, aluminio, uso de cemento y aditivos en la construcción de viviendas, siendo crucial reducir los efectos negativos.

Según (Zuleta, 2011), “la construcción sostenible contiene todo el proceso de existencia de una edificación, partiendo en su etapa de diseño, construcción y finalización, considerando el contexto natural, social y económico”. Durante la etapa de diseño, se enfoca en crear áreas que brinden niveles más altos de confort y eficacia para sus habitantes, empleando energías alternativas, sistemas de iluminación, ventilación adecuada y la apreciación del entorno durante toda la vida útil del edificio. Considerando así, estas alternativas para reutilizar los materiales al terminar la vida útil, en su etapa constructiva, en la utilidad de los materiales y en la reproducción de residuos. Es necesario procurar edificar en concordia con lo natural, produciendo a partir de los recursos aprovechables de la zona, evitando de cualquier manera, toda forma de destrucción ambiental.

De igual manera, (Bautista & Loaiza, 2017), considera “como el entorno y su integración contribuyen a la formación de las ciudades”. La meta es instituir un ambiente urbano que no afecte al medio natural y que por el contrario facilite recursos urbanos adecuados. Esto involucra diferentes espacios que no solo se deba considerar, la eficacia energética y el cuidado del agua, sino que además es necesario certificar el funcionamiento de los espacios para establecer un entorno totalmente habitable. Resulta indispensable romper los procedimientos y prácticas adaptados por décadas al actual sistema de edificabilidad, que no ha tenido en cuenta la grandeza del consumo de los recursos ambientales. Es necesario reciclar, esta reutilización y rescate de materiales en lugar de su extracción continua de recursos ambientales naturales, provoca el uso de técnicas constructivas y energéticas apoyadas en elementos y energías renovables.

Sin embargo, según (Serra, A., 2011), menciona que “la adopción de prácticas constructivas más sostenibles se ha convertido en una cuestión de elección personal”. La regulación en este ámbito debe efectuar alternativas que favorezcan el funcionamiento medioambiental de las construcciones en edificios. Además, es crucial mejorar su funcionamiento en relación a los fenómenos naturales que representen mayores riesgos, los cuales generan una serie de impactos en el entorno natural y conllevan un gasto considerable de recursos económicos. En consecuencia, en la última década se ha desarrollado un nuevo tipo de construcción que es considerada como llevadera con el medio natural, y que utiliza una combinación de sistemas que consideran el menor consumo de recursos.

La construcción sostenible debe ser comprendida desde una perspectiva sistémica, donde se promueva una cultura que valore y cuide el medio ambiente, al mismo tiempo que fomente la inserción social, el respeto y la solidaridad. Durante todas las etapas de construcción, se deben

considerar los cuidados ambientales asociados a la edificabilidad. Un material naturalmente sostenible puede ser definido como el que se puede reponer fácilmente en el entorno, es decir, que no contiene elementos químicos no naturales, que puedan ser perjudiciales para la salud, es accesible tanto por la cantidad alta que el entorno realizará la edificación como por el costo accesible de producción o extracción que sea necesariamente reciclable.

2.1.3 Fibras naturales

Las fibras de origen natural son filamentos que provienen de plantas, animales o minerales utilizadas con diferentes propósitos en la producción de materia prima para el consumo humano. Estas fibras son caracterizadas por poseer propiedades naturales, sostenibles y renovables, potencializando el uso de estos materiales para varios objetivos.

a) Tipos de fibras naturales

Fibras vegetales

Algodón: Se obtiene de la planta de algodón, caracterizada por su durabilidad y suavidad, es la más usada en la producción textil.

Yute: Se obtienen del tallo de yute, caracterizada por su durabilidad y resistencia, utilizada para la producción de cuerdas, alfombras y otros.

Cáñamo: Se obtiene del tallo de cáñamo, caracterizado por su durabilidad, se la utiliza con mayor frecuencia en la producción de papel y algunos textiles.

Coco: Se obtiene de la cascara del coco, caracterizado por su resistencia, durabilidad y elasticidad, se emplea en productos industriales, pero también para la producción de paneles y aislantes para la construcción.

Cereales: Se obtienen de los tallos de trigo, cebada, maíz, entre otros, son caracterizados por su resistencia, durabilidad y sostenibilidad por tener la capacidad de ser reutilizadas para diferentes objetivos. Su aplicación está relacionada directamente con la construcción ya que estos tienen propiedades altamente resistentes y aislantes en una estructura.

Fibras Animales

Lana: Producida generalmente por las ovejas, es valorizada en el área textil por sus propiedades de resistencia y elasticidad.

Seda: Producida por los capullos de los gusanos de seda, contiene propiedades de resistencia y suavidad, aplicados en la producción de textiles.

Alpaca: Producida por las alpacas o llamas andinas, es valorizada en el área textil por sus propiedades de resistencia, elasticidad y suavidad.

b) Beneficios y propiedades de las fibras naturales

La mayor importancia de estas fibras son su producción natural, utilizadas para el uso y producción de elementos de los habitantes locales.

Sostenibilidad: Estas fibras naturales son biodegradables, es decir se descomponen en el entorno sin generar residuos contaminantes, haciendo de estas una opción más ecológica en comparación con otras fibras sintéticas.

Confort: Estas fibras contienen características con capacidades altas para transpirar y regular la temperatura, en la construcción brinda niveles óptimos de un hábitat confortable y saludable.

Aplicabilidad: Estas fibras naturales pueden ser empleadas en una amplia disponibilidad de lugares, productos, complementarios y más, generalmente presentes en materiales de construcción, productos textiles e industriales.

2.1.4 Fibras vegetales de cereales

Es importante comprender que los cereales son semillas que experimentan un proceso agrícola de evolución natural, efectiva y prolongada. Existen diversas familias de cereales, como la cebada, el trigo, el maíz, la avena, el arroz, la sorgo, centeno, entre otros. A medida que se desarrolla este proceso natural, se determina la madurez y consistencia de la semilla para luego poder trabajarla mediante un proceso y obtener las fibras necesarias. Según (Silvera & Cadena, 2011), “las fibras de cereales presentan ventajas en términos de viabilidad con bajos costos de provecho y factibilidad del proceso”, siendo estas fibras, valoradas desde tiempos antiguos, especialmente en la aplicación de diferentes sistemas constructivos tradicionales. Además, en sus ventajas físicas positivas, se establecen propiedades térmicas y acústicas, lo que hace de este material una elección promovida por el uso equilibrado de los recursos ambientales.

De acuerdo con (Martín, 2021), “el uso de fibras de cereales ha estado presente de manera indirecta, en la edificación primaria de viviendas desde hace décadas utilizando ramas, troncos y hojas de árboles”, pero con el paso del tiempo, las técnicas constructivas evolucionaron y se comenzaron a combinar estas fibras vegetales con diferentes áridos de la región. En la actualidad, las fibras son consideradas como un elemento de construcción alternativo, por su uso que ha adquirido mayor importancia en la construcción ecológica, fomentando el desarrollo de nuevos sistemas constructivos basados en la reutilización y reciclaje de materiales. Desde su utilización hasta su aplicación en la construcción, las fibras permiten calcular la cuantía de elementos primarios que se puede obtener en un tiempo de corta o larga duración, lo cual brinda soluciones en los procesos de fabricación de fardos a partir de estos elementos.

Además, las fibras de cereales se consideran elementos naturales que han sido parte fundamental de los sistemas constructivos tradicionales, como menciona (Peña, 2016) “han contribuido a la conformación y estructura de los elementos en combinación con procesos de tierra, mejorando así el proceso de construcción”. Estas fibras poseen propiedades que permiten estabilizar y mejorar las características utilizables y termo acústicas de las mamposterías, especialmente cuando se utilizan en ellas. Además, juegan un papel determinante en la

sostenibilidad de un edificio, ya que mejoran la eficacia energética y la disposición de la envolvente en la fachada. El aislamiento térmico, en particular, es un componente con un impacto significativo. Al seleccionar estas fibras, es importante tener en cuenta aspectos como el costo de producción, la aplicación, impacto ecológico y energético.

Sin embargo, para (Borsani, 2011), “no existe un material que sea ecológico por excelencia, ya que todos los materiales tienen un componente no renovable”, pero la presencia de varios productos naturales compuestos por celulosa permite comprimir la utilización de recursos con bajo impacto ecológico-ambiental y que no sea considerado un riesgo para la salud y el medio natural. Si bien las fibras garantizan y previenen la deformación del material, preservando su forma y evitando grietas, los productos de celulosa ofrecen una química que puede mejorar las condiciones de los elementos al añadir sustancias que pueden formar combinados firmes. Este balance nos permite comprender que tanto los elementos fibrosos como los elementos con celulosa establecen una forma de automática que reduce los vacíos, sellando al milímetro las partículas, extendiendo así la resistencia de la materia prima y disminuyendo su desproporción.

Estas fibras vegetales de cereales, disponibles en grandes cantidades en el cantón Colta, son empleadas en un 50% para alimento de animales, 30% abono natural y 20% se quema sin considerar sus características favorables para la construcción. El uso de este material natural permitirá generar sistemas constructivos con mayor resistencia a la tracción y previniendo la formación de grietas o deformaciones. Además, contribuyen como aislantes térmicos y acústicos, mejorando la eficiencia energética en el interior de las edificaciones.

2.2 Construcción con fibras vegetales de cereales

La paja es un residuo agroindustrial compuesto por los tallos secos de cebadas y fibras de plantas, que se encuentran entre la espiga y la raíz. Se obtiene de diversos cereales como la cebada, el trigo, el centeno, la escanda, el arroz, entre otros. Después de separar los granos de la planta, se considera el desecho de la planta, es decir las hojas y tallos, como residuo, el cual se aplica un método de almacenamiento y sinterización utilizando una enfardadora para formar bloques de paja. El uso de la paja en la construcción tiene un enfoque respetuoso y comprometido con el medio natural, ya que establece la adaptación natural de energía y el uso de materias primas renovables, lo que ayuda a reducir el impacto ambiental y minimizar el consumo energético. Según (Minke & Mahlke, 2006), “este material es apreciado como un elemento sostenible debido a que ofrece beneficios tanto agrícolas como constructivos, respondiendo con la no emisión de CO₂”, esta producción de fardos de paja utiliza una cantidad mínima de energía, ya que son fibras naturales, y ha demostrado ser una solución eficiente en comparación con otros elementos constructivos convencionales como tableros.

2.2.1 Fardos de paja

Según (Viera, Aguirre, & Monzo, 2020), establecen que “aprovechar este residuo agroindustrial potenciaría la actividad agrícola en las zonas productoras de trigo en Ecuador, al tiempo que se promovería la misión ambiental-sostenible en el campo de la edificabilidad”, este uso de fardos de paja en la edificación de viviendas ofrecería la opción de generar estructuras en relación con el medio natural. Estos bloques deben contener una densidad adecuada de por lo menos 80 kg/m³ y una humedad relativa inferior al 18%. Las fibras de paja presentan una organización química con características físicas bastante similares a la madera, lo que permite utilizarlos como elementos de mampostería recubiertos de mortero. Esto facilita el desarrollo de bases resilientes que promueven la incremento sostenible, y provoca la invención, ya que respetan los parámetros establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC 11, capítulo 13, eficiencia energética.

Al igual que, (Maraldi, Molari, & Molari, 2015), considera que “es importante entender la orientación de los elementos fibrosos y la apariencia de los hilos que sujetan y contienen unido el fardo de paja”, son técnicas que tienen una gran influencia en el comportamiento del material. Cuando el fardo se encuentra en posición plana, las deformaciones permanentes no son significativas en comparación con el desplazamiento general del bloque de paja. Esto, debido a que el fardo recobra su forma inicial una vez que se retira la carga. Por otro lado, si se ensaya el fardo en posición vertical, las cuerdas están bajo tensión. Además, la forma de utilizar los fardos implica un grosor variable de 32 a 35 cm, un ancho de 50 cm y una longitud entre 50 y 1,20 m, con una densidad de compresión que esta entre 80 y 120 kg/m³. El uso de los fardos de paja proporciona una base consolidada para establecer un nuevo sistema constructivo en viviendas u otras estructuras similares con una viabilidad técnica para ser aplicada.

Sin embargo, para los autores (Swentzell, Steen, & Bainbridge, 1994), plantean que “este enfoque se centra en el funcionamiento del proceso constructivo como un sistema completo en lugar de considerar los fardos de paja como elementos individuales”, pero también se deben tener en cuenta las condicionantes y requisitos concretos que deben contener los fardos antes de su uso en la edificación, considerando uno de los primordiales requisitos el control de la humedad, siendo este un requerimiento, que los fardos sean revocados con un recubrimiento diseñado previamente para establecer un sistema mejorado de construcción. El valor de la paja radica en su sostenibilidad, bajo costo y diversas aplicaciones en la construcción de viviendas, se destaca como un material de aislamiento acústico y térmico que contribuye a disminuir la pérdida de calor en época invernal y la entrada de calor en verano, lo que potencia la eficiencia energética y el confort interior. La durabilidad y resistencia son características importantes de los fardos de paja debido a su compactación, lo que les confiere una protección significativa contra el fuego. Es necesario destacar que su uso óptimo se logra al combinar los fardos con yeso, formando una capa protectora que reduce la propagación del fuego, utilizando de manera óptima este recurso para lograr resultados de protección, durabilidad y aislamiento.

2.2.2 Origen de la construcción con fardos de paja

Desde el siglo XIX en Estados Unidos, la expansión hacia el oeste del río Misuri llevó a la población a enfrentar desafíos significativos, y conforme se desarrollaba este traspaso territorial se encontraban con realidades totalmente desoladoras. La escasez de árboles y piedras, para las construcciones tradicionales, generó la necesidad de encontrar otras soluciones. La falta de barro y combustible para realizar ladrillos de adobe, obligo a desarrollar bloques llamados “terrones”, extrayendo tierra húmeda en forma de ladrillos de zonas pantanosas para la construcción.

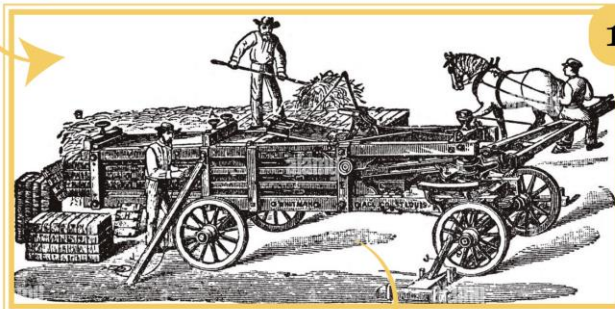
En los nuevos asentamientos, y de manera particular en la localidad de Nebraska, las condiciones eran desventajosas con terrenos arenosos cubiertos de paja, que inicialmente, aprovecharon estas fibras cortándolas y amontonándolas para usarlas como recurso para animales. Sin embargo, después se trasladó a otras áreas, donde las combinaban con barro para crear bloques de adobe. Esta práctica manual condujo a desarrollar una máquina compactadora para agilizar y mejorar el proceso. Con el tiempo, se experimenta un progreso en el desarrollo de edificaciones con bloques de paja en diversas regiones de Norteamérica mediante técnicas que optimizan la utilización de este recurso natural, representado en la figura 3. La creación de las compactadoras es el punto significativo de partida para la evolución de estas construcciones.



1850

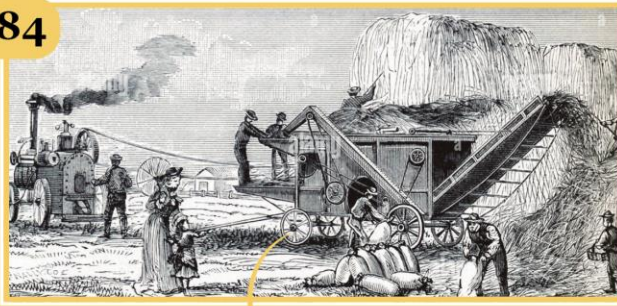
Se inventaron las empacadoras manuales, facilitando la creación de bloques densos y uniformes de paja.

Se desarrollaron empacadoras con tracción animal, utilizando principalmente caballos para este trabajo.



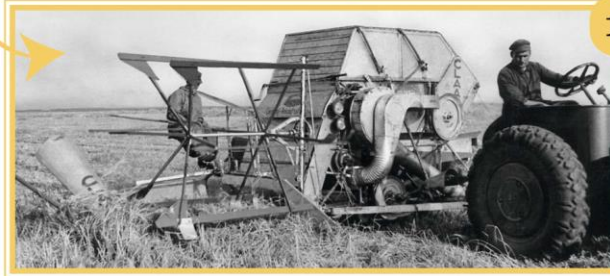
1872

1884



Se inventó la empacadora a vapor y posteriormente se las comercializó en varios lugares de Estados Unidos.

Se alcanzó un hito importante con la introducción de la primera empacadora con atado automático.



1936

Figura 3: Evolución de las enfardadoras de paja.

Fuente: (Minke & Mahlke, 2006)

2.2.3 Evolución de la construcción con fardos de paja

Desde 1872, con la introducción y desarrollo de empacadoras, representado en la figura 4, los residentes locales comenzaron a entender el potencial constructivo de la paja, dada su abundancia en la región. Sin embargo, no fue hasta 1896 que se materializó la idea, marcando el registro de la primera vivienda temporal construida íntegramente con bloques de paja.

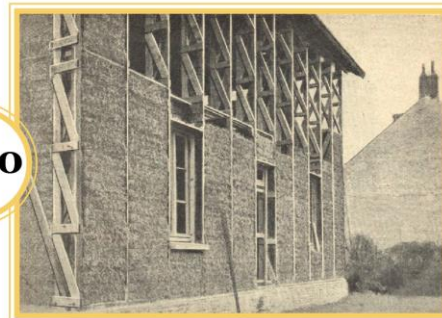


1896

En las extensas llanuras de Estados Unidos, Nebraska fue pionero en la creación del “método Nebraska”, el cual marcó un hito al introducir la primera construcción sin estructura de madera, utilizando fardos de paja como componente principal. Este innovador método, que se caracterizaba por muros autoportantes, se expandió por Estados Unidos y Canadá hasta la década de 1940. La clave de su éxito radicaba en ser un sistema constructivo eficiente, económico y con propiedades aislantes, consolidándose como una técnica distintiva en la historia de la arquitectura.

Este método constructivo trasciende fronteras continentales al llegar a Europa, inicialmente en Francia con influencia de Canadá y posteriormente expandiéndose a Inglaterra. La primera edificación documentada, Maison Feuillette en Montargis, Francia, representa un prototipo concebido para la reconstrucción de zonas rurales después de la Primera Guerra Mundial. Aunque originalmente se basó en el método Nebraska, se realizaron modificaciones notables, incorporando un sistema de postes y vigas de madera rellenas con paja.

1920





1940

DESUSO DE LA CONSTRUCCIÓN CON FARDOS DE PAJA

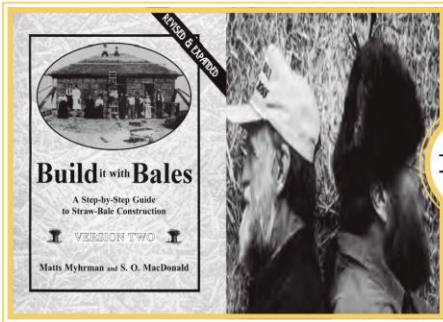
A partir de este año, empiezan a desarrollarse diferentes factores sociales que desataron varias crisis a nivel mundial producidos por el inicio de la Segunda Guerra Mundial en Europa y la presión de un sector de la construcción industrializada que llevaron al desuso de la paja como material de construcción tanto en Europa como en Estados Unidos.

RESURGIMIENTO DE LA CONSTRUCCIÓN CON FARDOS DE PAJA

Roger Welsch revitaliza el interés por la construcción con fardos de paja al escribir el artículo "Straw Bales" para el libro "Shelter" de Lloyd Kahn. Este redescubrimiento impulsa una nueva experimentación en Estados Unidos, dando origen a la asociación educativa e investigativa "Out of Bale" y la revista "The Last Straw", ambas dedicadas al estudio de este olvidado material constructivo.



1973



1991

Steve McDonald redacta el primer libro sobre construcción con fardos de paja, titulado "Build it with Bales". A partir de este momento, surgen asociaciones, libros y revistas en todo el mundo dedicados a esta técnica constructiva. Aunque inicialmente se aplicaron principalmente en zonas rurales de Estados Unidos debido a restricciones legislativas, estas prácticas ganan reconocimiento y difusión global.

En Tucson, Arizona, emprenden el proyecto "Straw-bale Commons", dedicando tiempo y recursos para beneficiar a la comunidad. Matts y David Eisenberg, fundamentándose en investigaciones locales, inician el proceso legislativo para normativas de construcción con fardos de paja en el Condado de Pima. Este documento es aprobado, marcando el inicio de legislación similar en California, Nevada y Texas.



1996



1998

La Red Europea de Construcción con Balas de Paja se establece en Bretaña, Francia, y los países europeos respaldan este enfoque constructivo. Hoy en día, las edificaciones con paja son globales, extendiéndose por todos los continentes, con aproximadamente 1000 nuevas estructuras construidas anualmente con este material.

La Red Europea de Construcción con Balas de Paja se establece en Bretaña, Francia, y los países europeos respaldan este enfoque constructivo. Hoy en día, las edificaciones con paja son globales, extendiéndose por todos los continentes, con aproximadamente 1000 nuevas estructuras construidas anualmente con este material.

2005



Figura 4: Evolución de la construcción con fardos de paja.

Fuente: (Nitzkin, 2023)

2.2.4 Factibilidad de la construcción con fardos de paja

La prioridad nacional es la incorporación de materiales sostenibles en la edificación de viviendas de eficaces. Para alcanzar este objetivo, se necesita un compromiso de la sociedad ecuatoriana. La industria de la construcción podría adoptar propuestas de bioconstrucción respaldadas por estudios técnicos académicos, ofreciendo alternativas para una población cada vez más consciente del medio ambiente. En este contexto, la utilización de bloques de paja como elemento de construcción se presenta como una opción inicial y una solución viable para abordar la falta de viviendas, especialmente en áreas rurales andinas donde la paja está fácilmente disponible.

- a) **Justificación:** Las fibras vegetales conocidas como pajas, son desechos agroindustriales de bajo impacto ambiental originados en cultivos como trigo, avena y cebada, que requieren poca energía para su producción. Aunque se usan comúnmente como alimento para animales, carecen de valor nutricional, también son empleadas como abono, enterrándolas en zonas agrícolas. En muchos lugares, la quema de grandes cantidades de este residuo genera problemas ambientales al liberar gases a la atmósfera. Según (Viera, Aguirre, & Monzo, 2020), “Ecuador cuenta con 5.973 hectáreas sembradas en algunas provincias andinas”, considerado como un país que cuenta con cantidades extensas de estos cereales como son el trigo y cebada que han formado parte de la arquitectura tradicional vernácula, combinándola con tierra durante milenios.
- b) **Características principales:** La investigación doctoral de la Ingeniera Paulina Viera, realizada en conjunto entre la Universidad Central del Ecuador y la Universidad Politécnica de Valencia, confirma la viabilidad de utilizar fardos de paja en la construcción debido a sus destacadas características constructivas representadas en la figura 5. Estos fardos han demostrado ser una alternativa eficaz en la ejecución de diversos proyectos residenciales, estableciendo características constructivas.

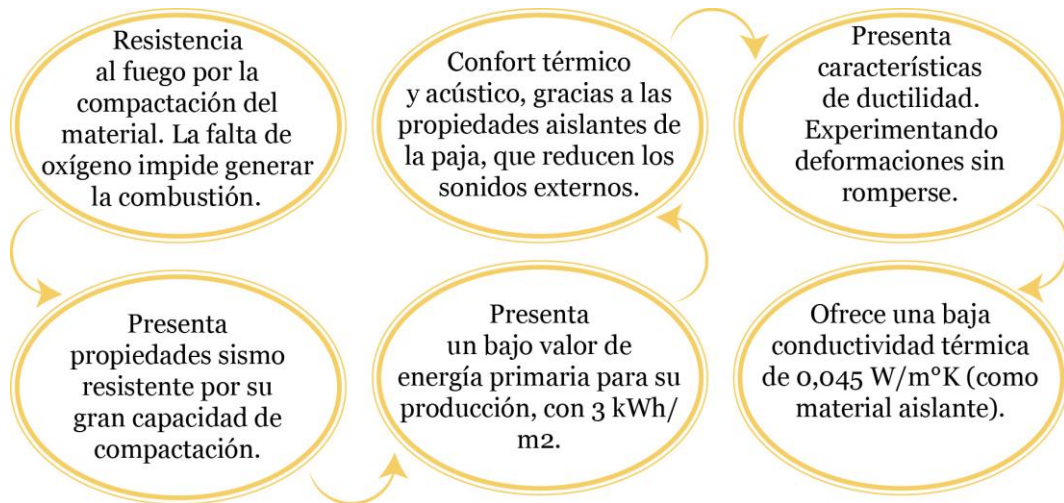


Figura 5: Características constructivas de los fardos de paja.

Fuente: (Sagñay, 2024)

2.2.5 Normativas de la construcción con fardos de paja

- a) **Normativa mundial:** En naciones como el Reino Unido, Australia, Países Bajos y Sudáfrica, la construcción con bloques de paja debe ser realizada por un constructor, de acuerdo con la sección de “Métodos Alternativos” del código de construcción local. Alemania se destaca como el único país europeo que cuenta con un código específico que regula el uso de fardos de paja en la edificación, presenta especificaciones para los muros que deben resistir cargas superiores a 500Kg por metro lineal de muro, equivalente a 1000Kg/m^2 , y es posible que incluso deban soportar cargas más elevadas. Sin embargo, existe la ausencia de códigos en otros países debido a la necesidad de realizar pruebas experimentales sobre las propiedades mecánicas de estos fardos.
- b) **Normativa continental:** El método constructivo de fardos de paja fue inicialmente aprobado en el Código de Construcción de Nuevo México en 1997, marcando un hito en América. Desde entonces, investigadores en universidades estadounidenses han llevado a cabo diversos experimentos para valorar el funcionamiento de estos sistemas. En 1997, Texas y en 2009, California, implementaron regulaciones que contenían especificaciones técnicas básicas y requisitos mínimos para los fardos y sus métodos constructivos. Conforme a la normativa de California, el “Código de Fardos de Paja” establece una carga vertical de 1.953 Kg/m^2 en el lado superior del muro. Sin embargo, para que los muros logren resistir estas cargas, e incluso mayores cargas, es esencial contar con elementos estabilizantes tanto horizontales como verticales. Estos elementos son cruciales para prevenir la curvatura o pandeo de los muros y para unir los fardos de paja que conforman la estructura, permitiendo que respondan de manera conjunta.

- c) **Normativa latinoamericana:** Se establece como regla primordial para todas las técnicas constructivas que la densidad de los bloques de paja, deberá ser superior a los 90 Kg/m³, esto se debe a la deformación o aplastamiento que pueden experimentar bajo cargas. Además, en el caso del sistema autoportante, se requiere que los fardos se coloquen de manera plana, ya que muestran un mejor comportamiento a la compresión en comparación con los que se coloca de canto. Además, es importante el espesor del recubrimiento, ya que estos factores son fundamentales para la resistencia del muro.
- d) **Normativa nacional:** Ecuador no cuenta con normativa propia establecida para la edificabilidad con bloques de paja, por lo tanto, es necesario basarse en la Normativa Ecuatoriana de la Construcción, determinado en el capítulo 13, eficiencia energética en la construcción en Ecuador, las características de confort térmico y aislamiento térmico, considera un factor de conductividad térmica inferior a 0,085 W/m^{°K}, obteniendo como resultados que los fardos contienen 0,045 W/m^{°K}.

2.2.6 Colaboraciones institucionales

El departamento de indagación de la vivienda de la Universidad Politécnica Nacional del Ecuador, ha llevado a cabo estudios experimentales sobre las características físicas y mecánicas de los bloques de paja producidos localmente. Esto tiene como objetivo permitir la utilización eficiente de este recurso como elemento de edificación. También, en la Universidad Central del Ecuador, se construyó un prototipo a escala real de una edificación con muros de bloques de paja portante y revestimiento de ferrocemento en Quivillungo, de la provincia de Bolívar, en el área andina central del Ecuador. Un análisis de costos, nos permite determinar que este tipo de construcción puede ser hasta un 50% más económico que una construcción contemporánea de hormigón armado.

2.3 Sistemas constructivos de fibras vegetales

Las edificaciones con bloques de paja están en evolución constante debido a las diversas técnicas y sistemas constructivos que se desarrollan bajo el cumplimiento de indicadores que lo potencializan como un material eficiente.

2.3.1 Propiedades técnicas de las fibras vegetales

- a) **Resistencia estructural:** La densidad óptima de los fardos es de 110 kg/m³, considerando que según (Minke & Mahlke, 2006) “la densidad de los bloques debe ser regularmente superior a 90 Kg/m³ y soportar pesos de más de 500 Kg por metro lineal, es decir, un promedio de 1.000 Kg/m²”, considerando que una mayor compresión proporciona mayor estabilidad y facilita la ejecución de los muros, aunque también (King & Beckett, 2011) señala que, la normativa californiana en el Código de Fardos de

Paja, establece que “contiene un peso vertical de hasta 1.953 Kg/m² en la parte alta del muro”, aunque es necesario considerar la disposición de elementos estabilizadores tanto horizontales como verticales para evitar el pandeo de los muros y asegurar la unión de los bloques de paja, permitiendo que respondan conjuntamente a las diferentes cargas.

- b) **Aislante térmico:** El material de fardos de paja es altamente eficaz como aislante térmico, gracias a su baja conductividad térmica. La densidad de los fardos, la orientación de las fibras (paralela u opuesta al flujo de calor) el nivel de humedad y el tipo de paja utilizada son factores clave. La conductividad térmica de las balas de paja puede fluctuar significativamente, con valores que van desde 0,0337 W/m^{°K} hasta 0,0645 W/m^{°K}. Sin embargo, según (McCabe, 1993) “el fardo de paja debe tener una densidad media que va entre 90 y 110 Kg/m³ y una conductividad térmica de 0,045 W/m^{°K}.” considerando estos datos a partir de varios estudios realizados en países europeos.
- c) **Confort térmico:** La paja actúa como un aislante excepcional y, al incorporar masa térmica a las paredes a través de revestimientos de arcilla, tierra o cemento, se incrementa su funcionalidad para retener tanto el calor como el frío. Según (Martínez, 2019) “el revestimiento, tanto en el interior como en el exterior, maximiza las propiedades de los fardos de paja al agregar masa térmica a los muros”. Este enfoque busca lograr un ambiente de confort térmico en el interior de la edificación, donde las temperaturas ideales van de 18 °C a 26 °C, acompañadas de una humedad relativa del 40% al 65%, y una ventilación que varíe entre 0 y 2 m/s considerando estos datos establecidos por las cartas bioclimáticas que pueden generar un significativo ahorro energético en calefacción o refrigeración.
- d) **Aislante acústico:** Los fardos de paja contienen una intensidad de sonido de 49 dB, estos, considerados según (Glassford, 2006) como “un material de núcleo poroso el cual, al emplear dos capas de revoco, exterior e interior, contienen propiedades de asilamiento contra el ruido óptimas”. Esto establece una correlación directamente proporcional entre el objeto del elemento edificado y el nivel de aislamiento acústico; es decir, a mayor masa, mayor aislamiento acústico.
- e) **Resistencia al fuego:** Según (García & Vangsbo, 2023) “los fardos de paja llegan a tener una entereza al fuego de entre 100 minutos y 120 minutos”, considerando que poseen una notable resistencia al fuego debido a la alta compresión a la que están sometidos, impidiendo la presencia suficiente de oxígeno para la combustión.

2.3.2 Sistema de muros autoportantes o técnica Nebraska

Esta técnica es el origen de la edificación con fardos de paja, destacada por su simplicidad y eficiencia para la autoconstrucción. La rapidez de ejecución se debe a la mínima necesidad de recursos y mano de obra especializada, resultando en una reducción significativa de tiempos y costos de construcción.

La disposición y el estado necesario de los bloques de paja son elementos fundamentales en este método constructivo, ya que son responsables de la permanencia y firmeza de una edificación. Según (Martínez, 2019) “es crucial supervisar el tipo de paja empleado, el nivel de humedad menor al 15%, la compresión y su regularidad dimensional”. Cumplir con estos parámetros no solo facilitará su colocación, sino que también asegurará una ejecución adecuada en obra, garantizando así la estabilidad de los muros.

Una correcta disposición de los fardos parten de la compresión que generan estos, así establece (Minke & Mahlke, 2006) quien considera que “se recomienda colocar los fardos de manera plana, ya que ofrecen un mejor rendimiento a la compresión en comparación con la disposición de canto”, creando estructuras con disposición a contra junta y por hiladas, permitiendo así que sostengan la carga de la estructura superior y transfieran esos pesos a la cimentación. Los vanos de las puertas y ventanas deben contener un área por arriba o debajo del marco de la estructura de la ventana para admitir que la presión se ejerza sin pandear los marcos. Al alcanzar la altura deseada, se añade un zuncho perimetral o viga para pretensar mecánicamente los muros. Se utilizan varillas de puntas roscadas en el centro como se muestra la figura 6 y tensores internos y externos representado en la figura 7, formando un “sistema de agarre”. Este sistema comprime el muro con la cimentación para que trabajen en conjunto, asegurando que la compresión sea mayor que la carga que recibirá de la cubierta.

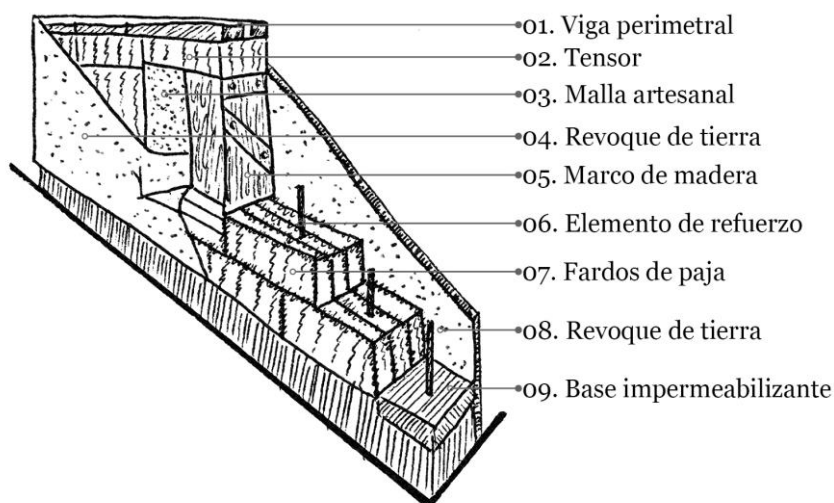


Figura 6: Partes de conexión de muro portante de fardos de paja.

Fuente: (Minke & Mahlke, 2006)

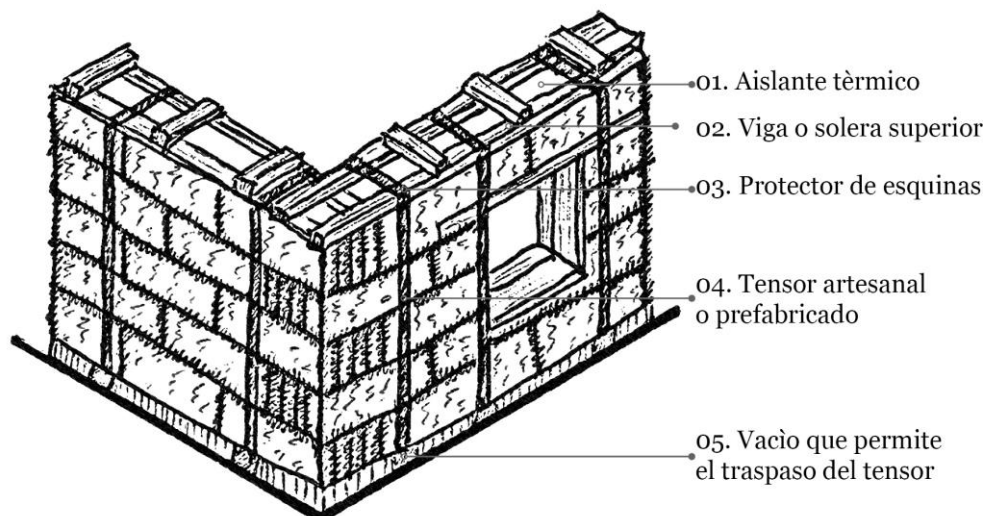


Figura 7: Compresión de fardos mediante tensores.

Fuente: (Minke & Mahlke, 2006)

Finalmente la aplicación de revoco en una y otra cara del muro proporciona una resistencia adicional y protege eficazmente los bloques de paja. Esta firmeza se ve significativamente mejorada con la presencia de revoco en comparación con la falta de este proceso.

2.3.3 Sistema poste – viga

El sistema constructivo poste – viga se caracteriza por contar con una estructura portante independiente, ya sea de hormigón, acero o madera. Aunque según (Martínez, 2019) “la madera se considera la mejor elección debido a su baja huella ambiental y compatibilidad en el comportamiento de los materiales”. El principal objetivo de este elemento es soportar los pesos de los forjados y cubiertas, permitiendo que los fardos desempeñen funciones de fachada y aislamiento. Es notable que en comparación con el sistema Nebraska, los fardos en este sistema pueden tener una densidad menor ya que solo necesitan soportar su propia carga.

Para este sistema, los muros utilizan una estructura hueca de madera, en los cuales los fardos rellenan estos vacíos interiores, sin soportar alguna carga estructural, representado en la figura 8. El diseño de la estructura de madera no está condicionado bajo ningún parámetro, sin embargo, existen diversas maneras de ubicar la estructura, tanto en la zona exterior, interior o los fardos alineados, considerando que las primeras opciones ensanchan el espesor del muro, mientras que la última implica más trabajo para ajustar los fardos a la estructura.

La unión de los fardos a la estructura es esencial para lograr una estabilidad al trabajar de manera conjunta. Esto abre posibilidades ilimitadas en el diseño al combinar la madera como elemento portante y la paja como cerramiento. Esta libertad en el diseño posibilita mayores luces, espacios más amplios y facilita la apertura de vanos en los muros. Además, contribuye a reducir puentes térmicos y mejorar la estabilidad general de los muros.

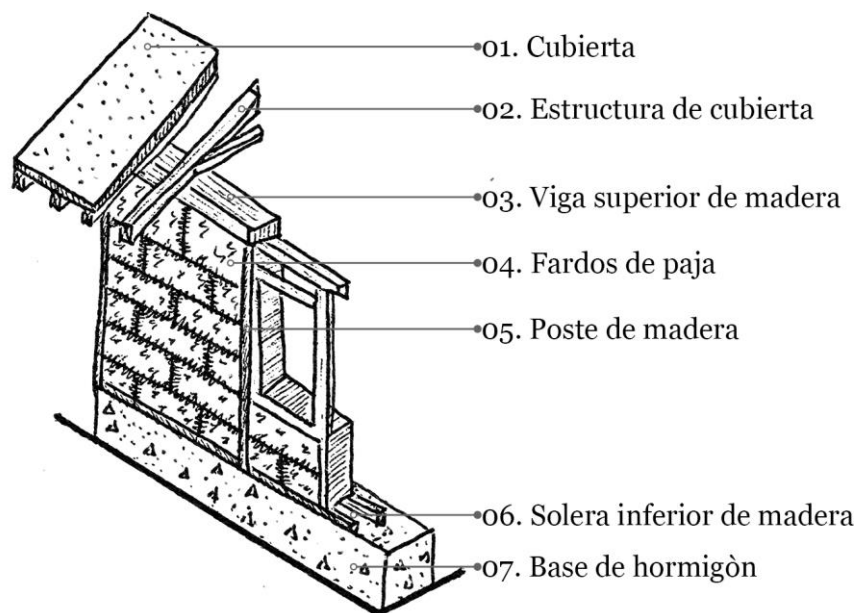


Figura 8: Elementos de un muro poste – viga.

Fuente: (Martínez, 2019)

Este sistema permite empezar la construcción desde la parte superior, es decir se puede realizar en una primera fase las columnas y vigas y sobre esta el apoyo de la cubierta. Esta variación permite tener un espacio donde almacenar y trabajar con los fardos. Para la construcción de este sistema es necesario considerar la disposición de estos pilares o columnas y la ubicación de puertas y ventanas, debido a que serán a estas estructuras que estarán sujetadas las jambas y marcos.

2.3.4 Sistema GREB (Grupo de Investigaciones Ecológicas de la Bahía)

En 1988, en Quebec, Canadá, surgió un sistema constructivo innovador llamado “the bay”, utilizado para establecer una ecoaldea en tierras agrícolas y forestales con la visión de crear un mundo diferente. Más tarde, con la colaboración del profesor e investigador Patrick Dery, desarrollaron esta técnica denominada sistema GREB.

Esta técnica consiste en la consecución de un armazón ligero de madera doble con maderos pequeños de 10cm. x 4cm, creando una cámara para fardos de paja dispuestos de canto. Se rellena el espacio de 4cm. con un mortero ligero denominado GREB, compuesto por 1 porción de cemento, 1 porción de cal, 3 raciones de arena, 4 partes de aserrín y 3 partes de agua. El vertido del mortero se realiza por hiladas de fardos, usando un armazón de madera sujetado a los maderos, representados en la figura 9. Después de vibrar para distribuir homogéneamente la mezcla, se repite el proceso hasta completar los muros. Al fraguar el mortero, se retira el encofrado, dejando superficies perfectamente aplomadas que facilitan el acabado final con revocos o la aplicación de otros elementos como la madera, tanto en el lado interno como en el lado externo.

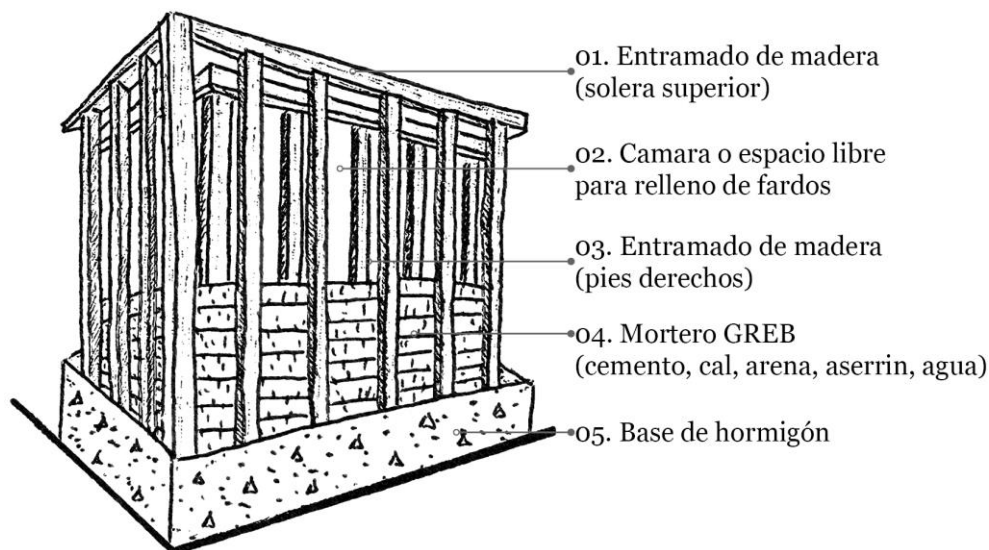


Figura 9: Técnica GREB casa de paja en Vacarisses.

Fuente: (Martínez, 2019)

La técnica GREB, según (Martínez, 2019) “se destaca por la inclusión de cemento en el revoco para acelerar el fraguado y por consiguiente el proceso de encofrado y desencofrado”, facilitando la reutilización de paneles. Este enfoque asegura un revestimiento consistente en los muros, minimizando la exposición de la paja a la humedad y reduciendo la degradación de las fibras vegetales durante el secado del mortero. Para contrarrestar la posible falta de transpirabilidad del cemento, se incorpora aserrín al conjunto, creando pequeñas cavidades que mejoran el aislamiento.

Aunque esta técnica presenta numerosas ventajas, tiene algunos inconvenientes en comparación con otros sistemas. Se utiliza cemento, aunque en una proporción básica del 11%, y requiere una mayor ración de madera, lo que genera un incremento del costo monetario en relación a otras técnicas.

2.3.5 Sistema CUT (Células Bajo Tensión)

Este sistema combina la técnica Nebraska con el método de poste-viga, aprovechando la capacidad portante de los fardos de paja al comprimirlos. Al reducir el tamaño del entramado de madera, se fundamenta en los códigos de acción y reacción, en el cual la compresión de los fardos genera tensiones que trabajan en conjunto con la resistencia y estabilidad de la estructura. Según (Nitzkin, 2023) “al comprimir los fardos, el muro mejora su resistencia lateral, ya que cada fardo de paja es comprimido, distribuyendo la compresión al cortar la cuerda”. Esta compresión horizontal actúa como arriostramiento, liberando tensiones en direcciones superior, inferior y lateral, estableciendo un método estable con el mínimo uso de elementos posibles.

Los montantes verticales de madera se disponen de 5cm más cortos que el largo del fardo ya comprimido, generando una presión horizontal adicional que asegura los montantes. Esta

presión asegura la fijación de los montantes y previene su deformación al ser sometidos a presión desde ambos lados. Al momento de cortar las cuerdas, los fardos se comprimen y para resolver las tensiones verticales, se colocan en los fardos dos listones de madera de 2,5 cm x 3,5 cm a ambos lados del montante vertical. Estos se comprimen sobre los fardos para mantener la tensión vertical y fijar los montantes mediante tornillos, como se muestra en la figura 10. Una vez los montantes y listones estén asegurados, se cortan los fardos para permitir la estabilización del sistema. Este procedimiento se repite en cada hilera hasta llegar a la altura de muro deseada.

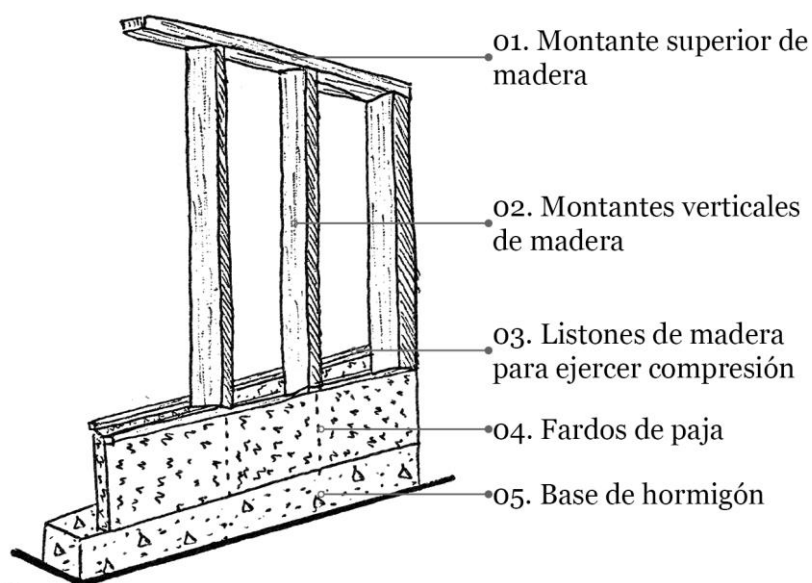


Figura 10: Montantes sistema CUT

Fuente: (Nitzkin, 2023)

El revestimiento en este sistema es esencial para la capacidad estructural de los muros, con un espesor establecido de 2,5cm. a 3 cm. logrando un cuerpo estructural que reúne los fardos mediante una mezcla de arcilla, arena, agua y cal en diversas proporciones para proporcionar la consistencia necesaria. Para impermeabilizar el revoco, se utiliza silicato potásico, que no solo crea una capa de protección, sino que también permite la transpiración continua del muro.

2.3.6 Sistema de Paja Encofrada

Este sistema se distingue por la construcción de muros utilizando fibras naturales mezcladas con mortero natural. Al verter esta mezcla en un encofrado y después del proceso de fraguado, se forma un muro que actúa como un tabique de revestimiento. Esta técnica es rápida y sencilla, requiriendo una estructura de madera para anclar las paredes, también se puede entender como un proceso basado en sistemas constructivos ancestrales, debido a que se requiere una estructura de madera para los muros y un encofrado, cuyo tamaño puede variar según el diseño.

Este encofrado puede realizarse con tablas duraderas sujetas entre sí o atornilladas a los tirantes de la estructura. Se procede a rellenar el encofrado de paja humedecida con barbotina,

presionando particularmente en recovecos y esquinas mediante un pisón, palo o manos, representado en la figura 11. La barbotina es una mezcla de tierra arcillosa y agua que, tras reposar durante 2 a 4 días, adquiere una consistencia que facilita el moldeado y aumenta la cohesión del material. Este tamizado de tierra agiliza el proceso de mezcla y permite eliminar piedras u otros materiales indeseados. En climas húmedos, la pared puede tardar en secarse, provocando deterioro, para esto, es crucial protegerla de la lluvia durante la construcción y permitir un secado rápido para prevenir la formación de hongos.

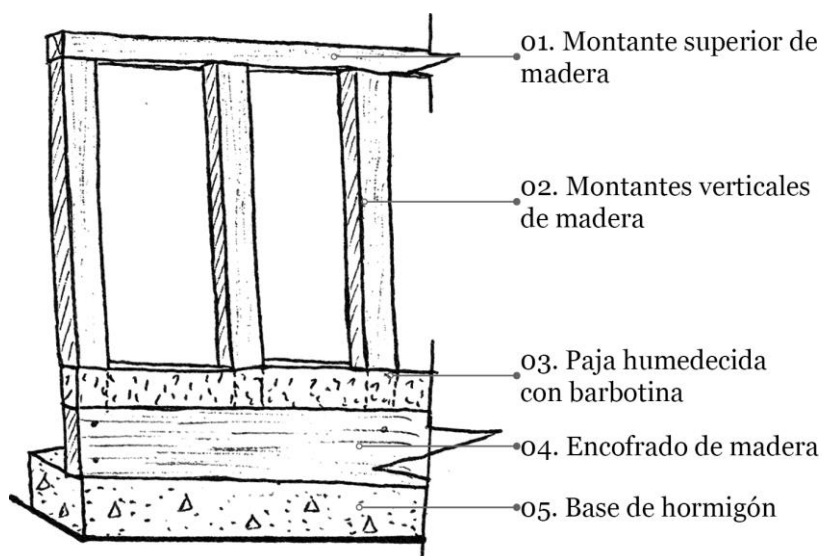


Figura 11: Sistema de paja encofrada.

Fuente: (Díaz, 2015)

Al igual que en otros sistemas, se requiere un revoco en este método, realizado con arcilla tamizada fina para permitir la salida del agua del muro. A diferencia de los muros de fardos, este sistema necesita un proceso de secado, que según (Díaz, 2015) “en algunos casos implica crear huecos entre los muros para acelerar el proceso y luego rellenarlos con el mismo material del muro”, aunque puede ser un proceso demoroso, es esencial para completar el revestimiento de entre 3cm. y 5cm. en cada lado del muro.

2.3.7 Sistema de Quincha Seca

Este método constructivo se determina por manejar una distribución del entramado de madera relleno con fibras vegetales. Las construcciones de quincha son versátiles y se adaptan a diversos climas, desde templados hasta tropicales y lluviosos. Este método aprovecha la presencia de agua y vegetación de fibras que se transforma en el esqueleto, mientras que el suelo arcilloso se utiliza como relleno del entramado.

En este sistema, se integra una barrera contra la humedad entre el sobrecimiento y la solera inferior. Esta barrera consta de listones de madera espaciados a 60 cm, con soleras y pies derechos dobles en los vanos de puertas y ventanas. En los lados externo e interno de la estructura de madera, se introduce una malla electrosoldada de composición cuadrada con

espacios de 15 x 15 cm, para posteriormente realizar el relleno de paja en una estructura creada a partir de fardos comprimidos. Estos se fragmentan en bloques prensados llamados “galletones” de 10 cm de espesor, que a su vez se dividen en tres sub-bloques denominados “ramilletes”, representados en figura 12, que son colocados dentro de la mallas electrosoldada.

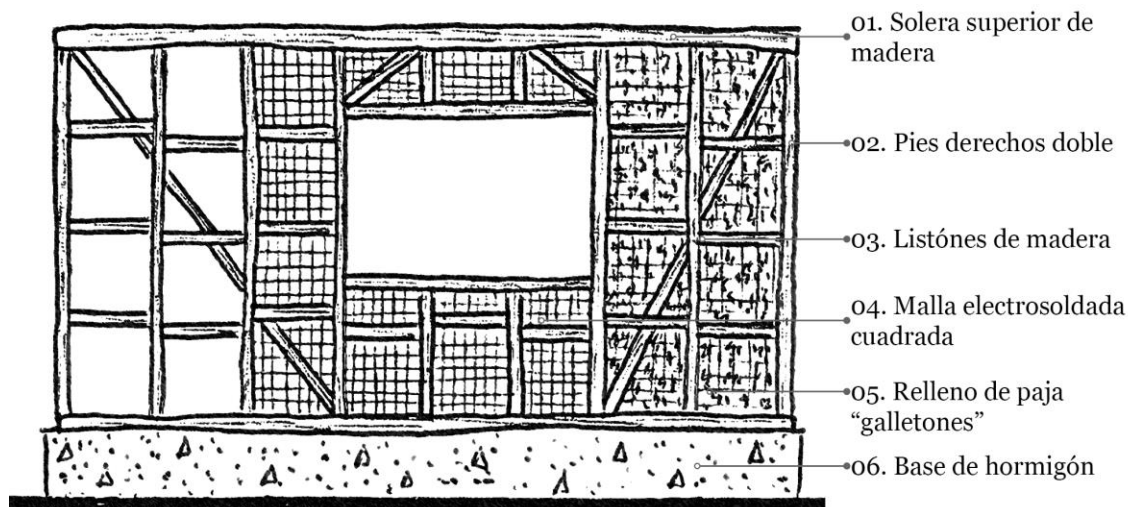


Figura 12: Relleno de paja en tabiquería.

Fuente: (Díaz, 2015)

Después, se comprime manualmente la paja para evitar espacios libres, sin exceder los 2 cm fuera de la malla electrosoldada. Se emplea un revoco robusto de 2,5 cm en las caras interiores y exteriores del muro, compuesto por una mezcla de tierra arcillosa y arena gruesa en proporción 1:1, con la adición de al menos un 15% de paja picada de entre 3 y 5cm. Esta mezcla reposa durante 24 y 48 horas para mejorar la cohesión utilizando un proceso manual o tecnificado según la escala del proyecto, se aplican dos capas para alcanzar el espesor final. Luego, se emplea un enlucido fino de 0,3 cm en cada lado del muro, compuesto por una mezcla de tierra arcillosa, arena de río, y un 15% de paja tamizada, este revoco debe tener aproximadamente 0,3 cm. La proporción 1:2 de arcilla y arena puede alternarse a 1:3 o 1:4 según la eficacia y cantidad de tierra disponible.

2.3.8 Sistema de Quincha Húmeda

A diferencia del sistema de quincha seca, en este método se crea una preparación llamada “tierra alivianada”, que según (Minke & Mahlke, 2006) “es elaborada mediante la composición de 1 parte de barbotina de arcilla y 2 partes de paja compactada”. Para un fardo estándar de medidas 0,45 x 0,35 x 1m. con una densidad de 90 kg/m³, se consigue un bulto de 0,1575 m³ o 157,5 litros. Siguiendo la proporción de 1:2, se requiere combinar el fardo completo con 78,75 litros de barbotina, pactando la cantidad en superficies absorbentes. El proceso comienza descomprimiendo y esparciendo la paja en una superficie limpia y nivelada de al menos 3 x 5m.

El relleno manual del muro se realiza con guantes impermeables para proteger las manos. Utilizando un fardo estándar de 0,45 x 0,35 x 1 m. con una densidad de 100 kg/m³ y se combina con 78,75 litros de barbotina, se consigue un rendimiento de relleno de 3m² de la estructura del muro. El procedimiento inicia incorporando puñados de la mezcla entre pies derechos y maderos, utilizando la malla como protección para evitar desbordamientos. Se aprieta cada puñado hacia abajo para comprimir la paja y barbotina dentro del muro, evitando exceder la malla electrosoldada, como se representa en la figura 13. Es necesario tener una atención particular al relleno en las zonas bajo soleras superiores y travesaños para detallar los efectos del establecimiento de la mezclanza al perder humedad, contracción que debe ser rellenada antes de aplicar los revestimientos. Se aplica la barbotina de manera uniforme con un recipiente, utilizando horquetas para asegurar que todas las fibras queden cubiertas. La mezcla se logra volteando y revolviendo hasta obtener homogeneidad, evitando excesos de barbotina o áreas sin cobertura completa.

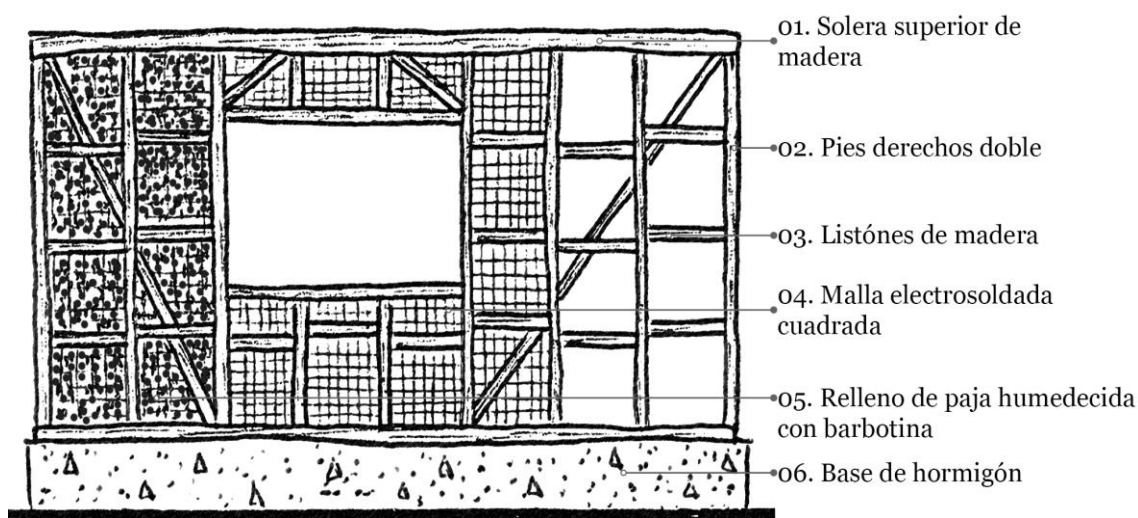


Figura 13: Relleno de paja húmeda o embebida en tabiquería.

Fuente: (Díaz, 2015)

De igual manera como es necesario aplicar un revoque de 2,5 cm en el lado interno y externo del muro con las mismas proporciones citadas anteriormente con la quincha seca, para terminar con un enlucido fino de 0,3 cm en cada lado de la muralla, compuesto por una mezcla de arcilla, arena de río, y un 15% de paja triturada. La ración 1:2 de arcilla y arena puede cambiarse a 1:3 o 1:4 según la disposición y cantidad de arcilla utilizable.

2.3.9 Sistema Prefabricado Modular

El método prefabricado es el método más reciente en la construcción con paja, estos módulos prefabricados pasan por rigurosas inspecciones de calidad previo a su producción, maximizando así las condicionantes técnicas de este material en vinculado con la madera.

A pesar de que la prefabricación de módulos constructivos, dependan de procesos industriales, que conllevan un impacto ambiental en términos de consumo energético y

emisiones de CO₂, su afectación es considerablemente menor en comparación con otros materiales de construcción, dadas las cualidades inherentes de la paja y la madera, como se simboliza en la figura 14. De acuerdo con (Martínez, 2019) “estos sistemas brindan diversas opciones de diseño mediante la creación de múltiples piezas modulares adaptadas a los requisitos estructurales”. Esto ha surgido como una alternativa eficiente frente a los métodos constructivos convencionales, destacando la prisa de montaje “in situ”, la eficacia de acabados, la progreso continuo, la seguridad en obra y la habilidad para elaborar presupuestos y gestionar tiempos en proyectos, con fabricantes a nivel mundial como, EcoCocon, Ecopaja, Okambuva entre otros.

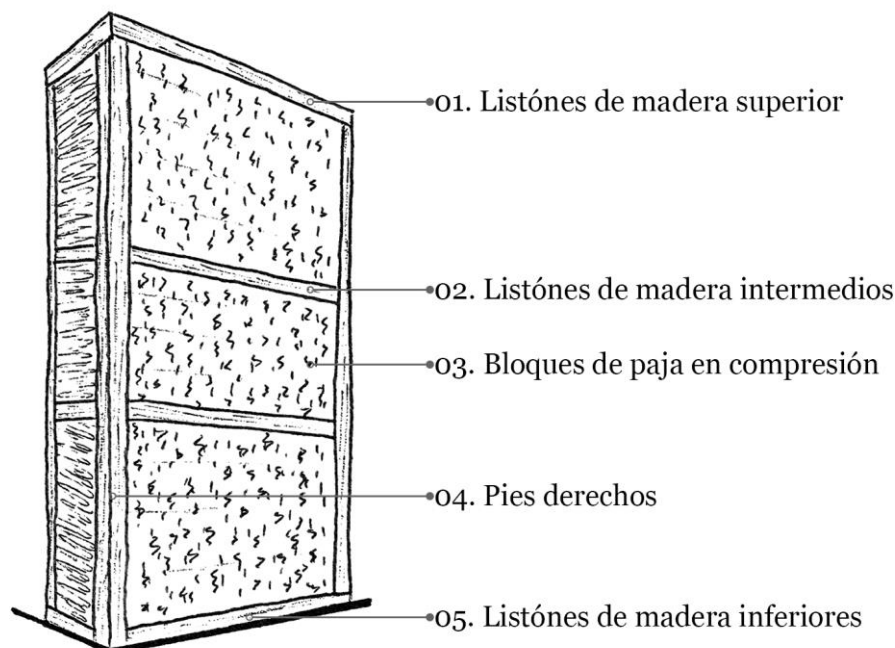


Figura 14: Prefabricado de paja y tabiquería de madera.

Fuente: (Ecopaja, 2017)

Estos sistemas también incluyen técnicas de revoco que deben cumplir con normativas para optimar la eficacia energética y reducir su gasto en construcciones. La aplicación del método “Wrapping” implica forrar los edificios mediante subestructuras de madera para sujetar los muros y al igual que en otros métodos constructivos, la defensa de la paja contra la humedad, lluvias o filtraciones.

2.3.10 Comparación de sistemas constructivos de fibras vegetales

Como se representa en la tabla 1, estos sistemas constructivos de fibras vegetales, tienen una misma función y propósito, sin embargo, contienen características diferentes unas de otras, que se pueden evidenciar.

Tabla 1. Comparación de sistemas constructivos de fibras vegetales.

Comparación de sistemas constructivos con fibras vegetales		
Sistema	Ventajas	Desventajas
Sistema Nebraska	Muros autoportantes. Construcción económica.	Mayor cantidad de mano de obra.
Sistema poste - viga	Construcción tecnificada. Construcción desde la cubierta.	Uso de estructura portante.
Sistema GREB	Mezcla de fibras con mortero ligero que genera mayor resistencia de los paneles.	Uso excesivo de madera para el entramado.
Sistema CUT	Combina técnica Nebraska con el sistema poste – viga.	Uso excesivo de madera.
Sistema de paja encofrada	Mezcla de fibras con mortero ligero que genera mayor resistencia en los paneles.	Mayor tiempo de construcción.
Sistema de quincha seca	Sistemas versátiles y se adaptan a diversos climas.	Uso excesivo de madera para el entramado
Sistema de quincha húmeda	Mezcla de fibras con mortero ligero que genera mayor resistencia de los paneles.	Uso excesivo de madera para el entramado.
Sistema prefabricado modular	Rápido, versátil y fácil de instalar.	Mayor costo en la producción de los módulos.

Fuente: (Sagñay, 2024)

2.4 Análisis de referentes

2.4.1 Referente Nacional BioHogar

Este referente ecuatoriano está ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, sector La Magdalena. La ingeniera civil Paulina Viera, con estudios doctorales en bioconstrucción, fue la encargada de realizar la primera edificación de paja en el Ecuador. La aplicación de muros portantes con fardos de paja o también conocida como la técnica Nebraska se muestra en la representación de la figura 15.

Producción de la paja

Este residuo proviene de la recolección de trigo, cebada y otros cereales, siendo establecido que cada hectárea dedicada al cultivo de estos granos genera una cantidad de paja que oscila entre 2,69 y 3,50 toneladas.

Producción de fardos

La realización de estos elementos se lleva a cabo mediante el uso de máquinas enfardadoras o de manera manual, siguiendo medidas estándar de 0,72 m. (largo) x 0,36 m. (alto) x 0,48 m. (base)

Construcción con fardos

A partir de pruebas e investigaciones previas, se ha establecido que cada metro cuadrado de muro incorpora 4 fardos de paja con las dimensiones especificadas.

Costos de construcción

Se contempla una inversión que representa el 50% en comparación con la construcción en hormigón, en gran medida gracias a la contribución de la mano de obra comunitaria.

Problemática social

El 60% de las viviendas en áreas rurales presentan condiciones inadecuadas, dando lugar a problemas de salud para sus habitantes. Estas situaciones son ocasionadas por el uso de materiales de construcción que no se ajustan a las exigencias ambientales del entorno.

Objetivo de la bioconstrucción

La edificación de esta vivienda se centra en ofrecer una alternativa constructiva que sea segura, resistente a sismos y energéticamente eficiente.

Figura 15: Características de los fardos

Fuente: (Sagñay, 2024)



a) Propiedades de los fardos

Impacto ambiental: Estos fardos son de origen natural, producidos de los tallos secos del trigo, contribuyen a un impacto ambiental reducido en la producción de fardos, equivalente a 3 kWh/m²

Compresión: Esta es una de las mejores propiedades de los fardos, ya que contiene una alta compactación de la paja, que le permite resistir cargas que superan los 500 kg por metro lineal de muro portante.

Resistencia: Presentan una excelente ductilidad, es decir contienen tienen la capacidad de deformarse sin llegar a romperse.

Normativa: Contienen una conductividad térmica de 0,045 W/m^{°K}, considerando que cumple con los criterios establecidos en la NEC HS EE Eficiencia energética, donde se considera un material aislante siempre y cuando el valor sea inferior a 0,085 W/m^{°K}.

Altura máxima: Estos fardos de paja soportan una altura de hasta 2,80 m. cuando se presenta un diseño con una altura superior es necesario determinar una viga superior de madera para continuar hasta la altura requerida.

Distancia máxima: La distancia máxima que soportan estos muros de fardos de paja son de hasta 6 m. a partir de esto, es necesario determinar un arriostramiento que permita estabilizar el muro para llegar a la longitud requerida.

Recubrimientos: Para esta técnica Nebraska aplicada, es necesario establecer dos tipos de recubrimientos desarrollados en distintos momentos.

El primer recubrimiento de los fardos está elaborado con paja triturada, arcilla y barro que no necesariamente contenga una superficie plana, sino más bien debe cumplir con el objetivo de proteger a los fardos de agentes externos.

El segundo recubrimiento de los fardos está elaborado con cal y barro, este debe ser contrario al anterior, ya que necesariamente debe tener una superficie plana, el objetivo de proteger y mostrar una superficie terminada del muro.

b) Proceso de construcción

Sobre una cimentación corrida de piedra y hormigón, los fardos de paja se apilan de manera trabada, para tener un mejor soporte de cargas, complementados en la parte superior con una viga en forma de escalerillas para soportar cargas de la cubierta, representado en la figura 16.

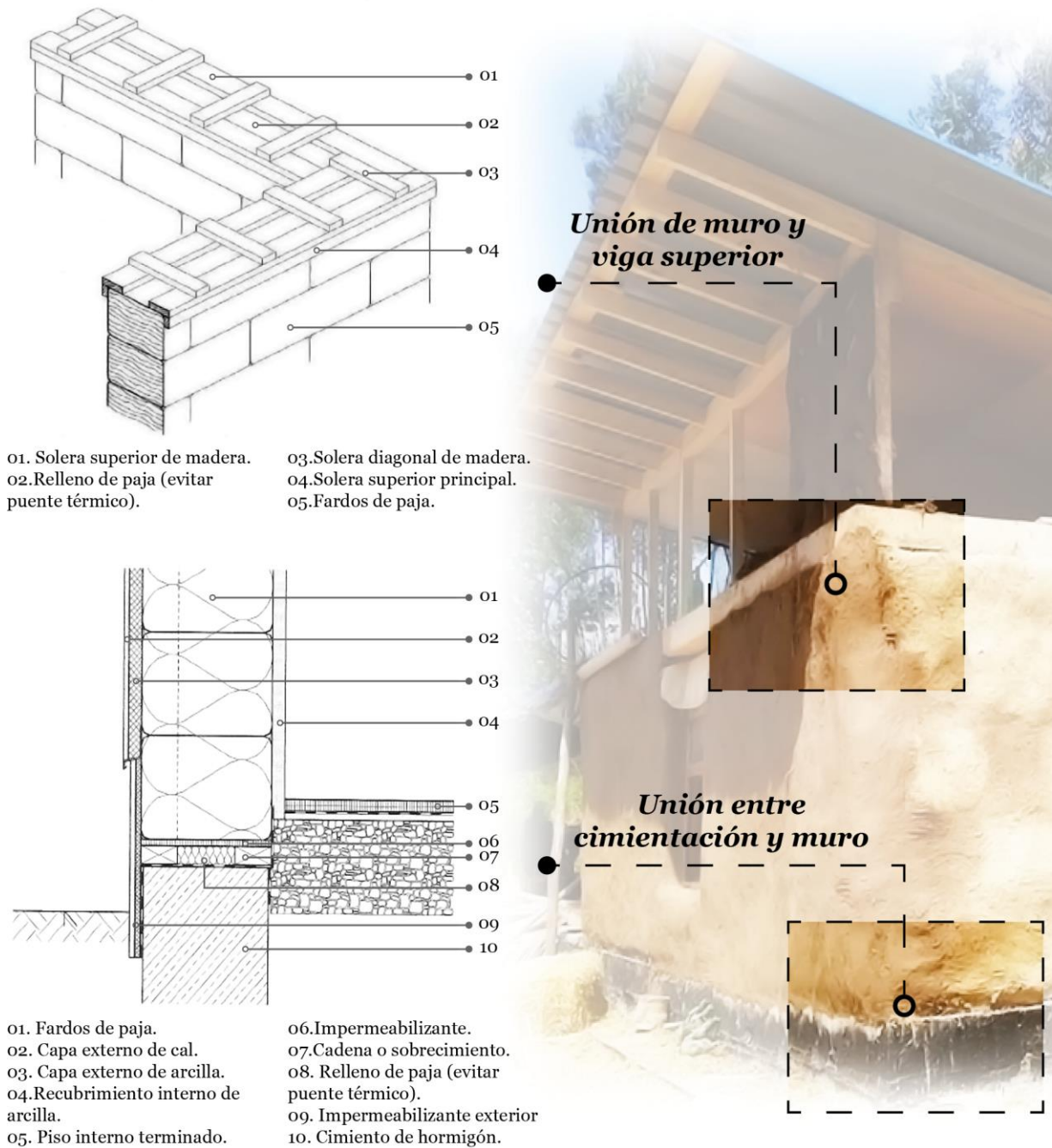


Figura 16: Detalles de uniones de cimentación, muro y viga superior

Fuente: (Sagñay, 2024)

Dentro de la conformación de los muros, los vanos para ventanas y puertas son muy importantes, éstas son reforzadas con madera para establecer una mini estructura portica para que finalmente en la parte superior se pueda enlazar con la viga tipo escalerilla que posteriormente será el soporte de la cubierta, representado en la figura 17.

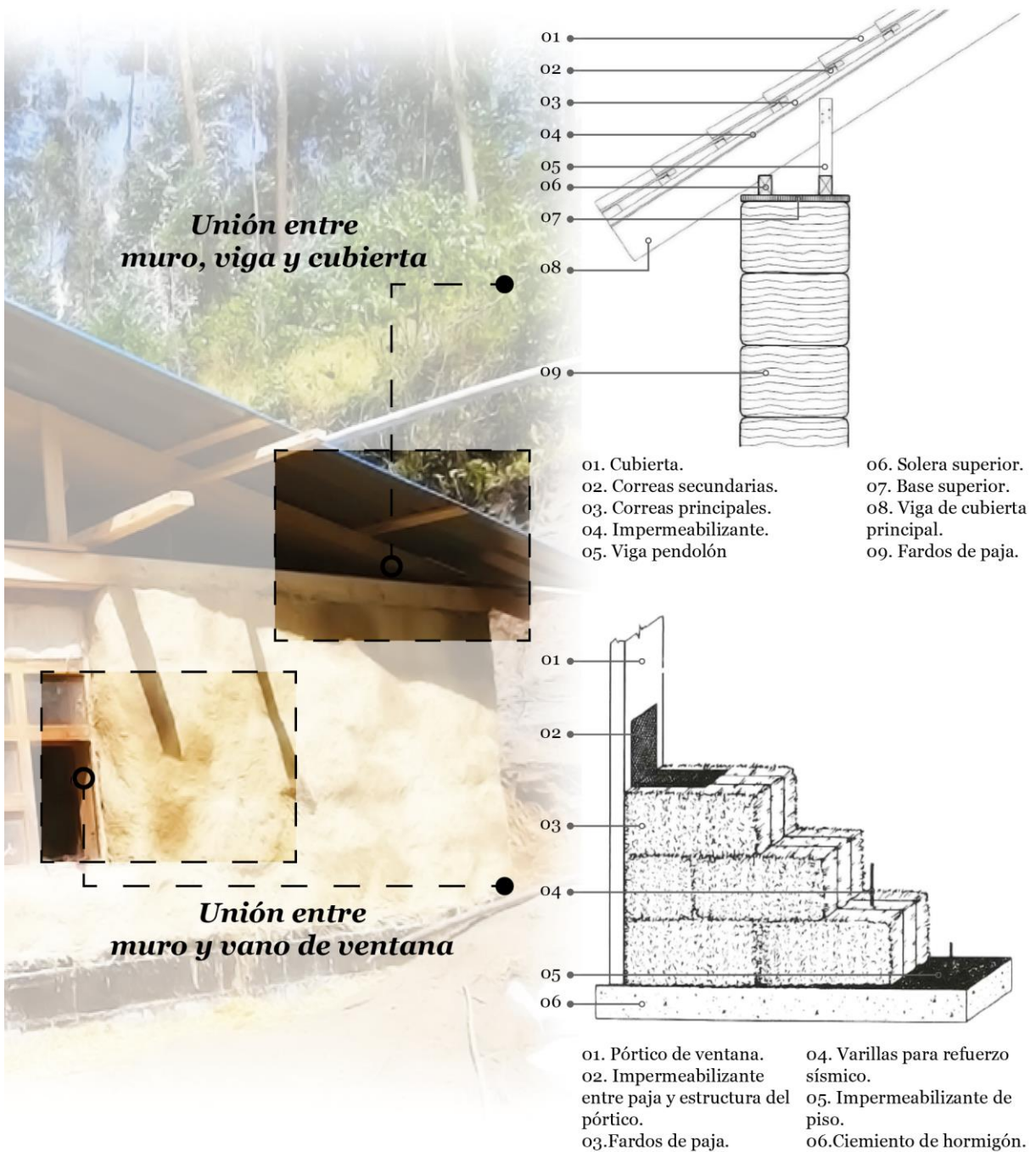


Figura 17: Detalles de uniones de muro, vanos y cubierta.

Fuente: (Sagñay, 2024)

2.4.2 Referente Internacional Okambuva

Okambuva es una empresa internacional ubicada en Valencia-España, tiene como objetivo establecer paneles prefabricados de paja para la edificabilidad natural-sostenible, estos paneles o también llamados alfaWALL contienen características de estructuras portantes. Además,

como se representa en la figura 18, cumplen con estándares reales de eficiencia energética utilizando recursos locales, con características técnicas adaptadas a las industrias locales.

a) Propiedades de los prefabricados

Compresión: Los módulos de paja son prensados, los cuales tienen una densidad mínima de 130 kg/m³, estos están integrados a una estructura de madera, los cuales son portantes y no requieren estructuras adicionales.

Eficiencia energética: El uso de la paja de trigo o cebada garantiza niveles elevados de eficiencia energética, permitiendo edificar construcciones que cumplan con los estándares.

Uso de madera: Esta estructura de madera permiten un montaje fácil y rápido gracias a la modulación de sus dimensiones, permitiendo utilizar herramientas y tornillería manual para su construcción.

Módulos: Estos módulos se fabrican de manera específica para cada proyecto, esto permite ajustar sus medidas dentro de una armazón que se determina por las condiciones tecnológicas.

Recubrimiento: Los muros pueden recubrirse de manera artesanal con arcilla o cal, pero también pueden recubrirse con elementos industrializados como tableros de madera u otros elementos, esto gracias a los marcos estructurales que facilitan su fijación.

b) Características técnicas

Madera estructural: Pino C24

Densidad: 120 kg/m³, humedad relativa < 15%

Medidas: Ancho mínimo 0,50 m. Ancho máximo 1,20 m. Altura mínima 0,50 m. Altura máxima 2,90 m.

Distancia máxima de dinteles: 2,50 m

Carga máximo de un panel: 250 kg

Volumen máximo de un panel: 1 m³

Transmitancia térmica: 0,166 - 0,198 W/m²C

Conductividad térmica: 0,067 W/m°C

Aislamiento acústico: 49 dB

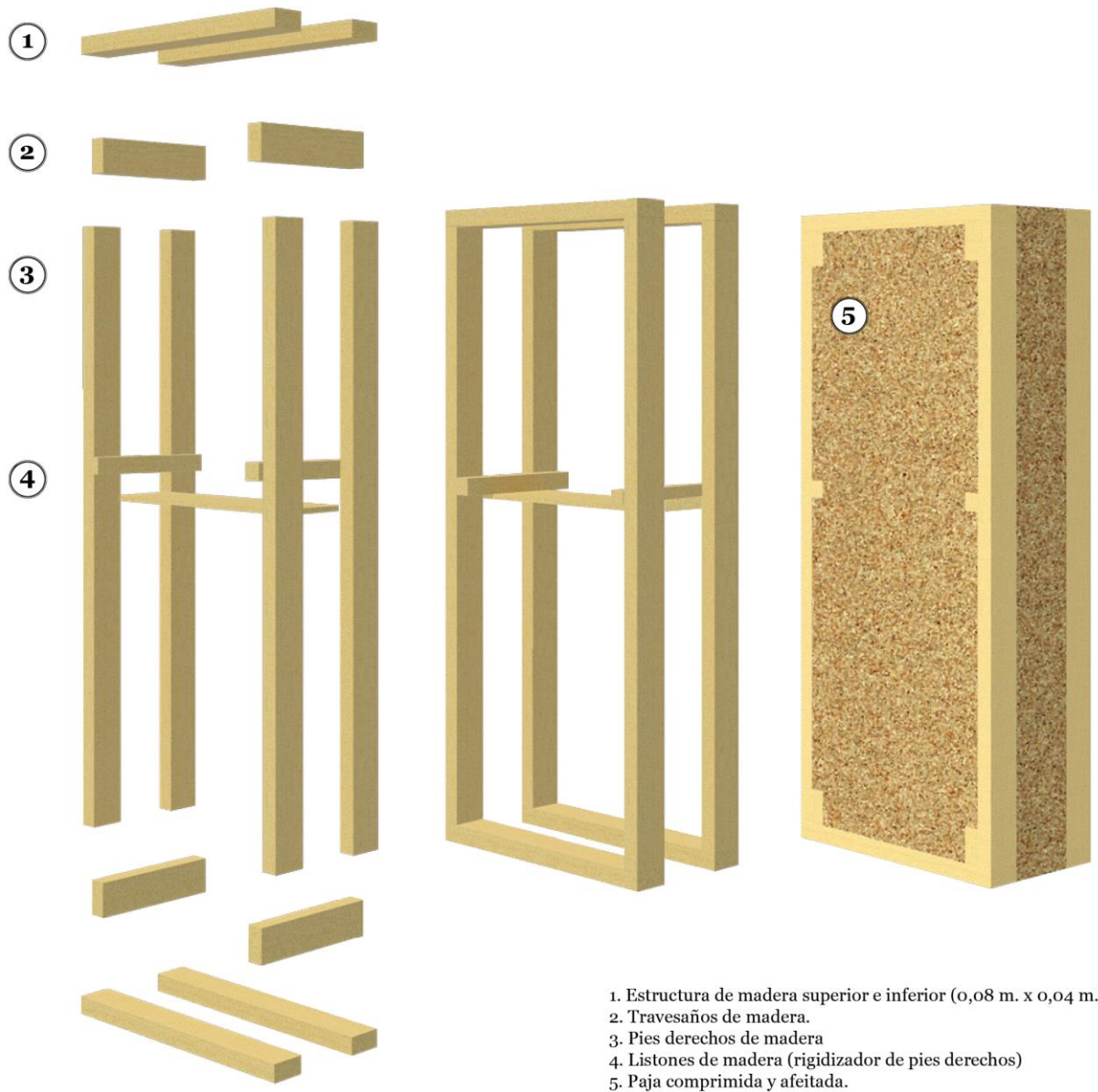


Figura 18: Elementos que componen los prefabricados Okambuva

Fuente: (Okambuva.coop, 2024)

La aplicación práctica de normativos que rigen en cada región, son importantes para la bioconstrucción ya que deben abordar revisiones teóricas y técnicas de los sistemas constructivos convencionales. La planificación, tecnología, logística y los presupuestos, son necesarios para diseñar y montar de manera eficiente las edificaciones desde su fase inicial de diseño hasta el ensamblaje y montaje completo de la estructura.

c) Muros prefabricados

Estos paneles prefabricados de paja comprimida, también llamados paneles alfaWALL contienen una estructura de madera que funciona tanto como elementos estructurales portantes

o también como mampostería de cerramientos habitacionales. Además, se destacan por el uso de materiales naturales renovables, permitiendo que la construcción de edificios cumpla con estándares de eficiencia energética. Además, cada módulo se fabrica específicamente para cada proyecto, esto permite ajustar las dimensiones de acuerdo a las necesidades de diseño de cada proyecto.

De acuerdo con las características técnicas de los materiales, estos muros pueden tener una altura máxima de 2,50 m. en todos los módulos, pero también los paneles premontados son utilizados para la edificación del envoltorio con un espesor de 0,35 m. como se grafica en la figura 19.

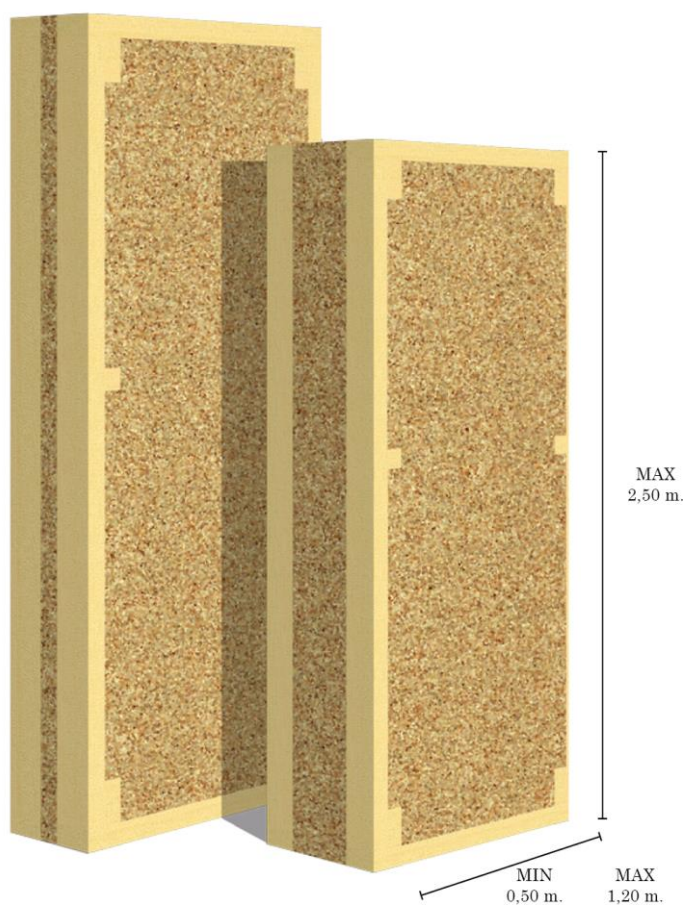


Figura 19: Muros prefabricados - alfaWALL

Fuente: (Okambuva.coop, 2024)

d) Dintel y antepecho prefabricados

Para los dinteles se utilizan paneles premontados cuyas medidas contienen un espesor mínimo de 0,35 m. y unas distancias máximas de hasta 2,50 m. representados en la figura 20.

Para los antepechos se utilizan paneles premontados que tienen medidas de igual manera con un espesor mínimo de 0,35 m. y distancias máximas 2,50 m. representados en la figura 20.



Figura 20: Dinteles y antepechos prefabricados - alfaWALL

Fuente: (Okambuva.coop, 2024)

e) Materiales de construcción de prefabricados

Uno de los objetivos de los prefabricados es el aprovechamiento de recursos naturales, como la paja, la madera y el barro, que son abundantes y renovables en la región. Estos materiales, están disponibles localmente para la construcción, impulsando prácticas sostenibles y ecológicas, que no solo son respetuosos con el medio ambiente, sino que también ofrezcan excelentes propiedades habitacionales como aislantes térmicas y acústicas, contribuyendo a la eficiencia energética y al confort de las edificaciones.

f) Ficha técnica

Los paneles prefabricados de paja de Okambuva, representados en la tabla 2, son también denominados alfaWALL contienen características y propiedades que demuestran como estos parámetros son óptimos para ser considerados potencialmente viables como alternativas de construcción.

Tabla 2. Ficha técnica de los paneles prefabricados Okambuva

Características generales	
Madera portante	C24
Paja	Trigo, centeno y arroz

Densidad de la paja	120 Kg/ m3 y humedad relativa < 15%
Tornillería estructural	de altas prestaciones según UNE - EN10002-1
Carga máximo de un panel	250 Kg
Volumen máximo de un panel	1 m3
Eficiencia energética	
Transmitancia térmica (U)	AW 25 - U 0,198 W/m2 C
Conductividad térmica (λ)	0,067 W/m C
Aislamiento acústico	49 dB
Datos del análisis de ciclo de vida	
Energía primaria embebida (no renovable)	35 kWh/ m ²
Potencial de calentamiento global	-46 kg CO2 eqv / m ²
Potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP)	7,8.10-4 kg Ethen -eqv. / kg
Potencial de acidificación (AP)	5,3.10-2 kg SO2 -eqv. / kg
Potencial de eutroficación (EP)	4,1.10-2 kg Phosphat -eqv. / kg
Potencial de agotamiento del ozono (ODP)	1,1.10-7 kg R11 -eqv. / kg

Fuente: (Okambuva.coop, 2024)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque

En esta investigación, se utilizará un enfoque de análisis cuantitativo para afirmar la potencialidad productiva del cantón Colta y obtener las características principales de la zona, esta información será fundamental para desarrollar la propuesta de bioconstrucción con fibras de cebada que permitan solucionar las necesidades de habitabilidad, sostenibles y constructivas.

3.2 Método

Es importante y necesario detallar la metodología a utilizar con cada uno de los objetivos específicos detallados, representado en la tabla 3.

Tabla 3. Aplicación de metodología

Objetivo específico	Tipo	Método	Instrumento
Analizar la evolución de la construcción con fibras vegetales en el Ecuador.	Investigación bibliográfica.	Recopilación de información, teoría, antecedentes históricos, datos, entre otros.	Búsqueda en libros, artículos científicos, tesis doctorales, entre otros.
Investigar el proceso de producción de fibras vegetales de la zona de estudio.	Investigación de campo.	Recopilación de información del sitio.	Recorrido, observación y análisis del sector,
Analizar referentes que apliquen un sistema de bioconstrucción producido a partir de fibras vegetales.	Investigación bibliográfica.	Recopilación de información teórica de otros autores.	Búsqueda de documentos científicos y proyectos realizados.
Diseñar el prototipo de panel de bioconstrucción con fibras vegetales de cebada del cantón Colta.	Experimental teórico.	Propuesta de diseño fundamentado en las investigaciones previas realizadas.	Diseño adecuado a la propuesta del panel.

Construir el prototipo de panel a escala con fibras vegetales de cebada del cantón Colta.	Experimental practico.	Propuesta de construcción fundamentado en el diseño previo realizado.	Construcción adecuada al diseño de la propuesta del panel.
---	------------------------	---	--

Fuente: (Sagñay, 2024)

3.3 Tipo de investigación

La investigación se desarrollará en diferentes tipos, que incluyen una investigación descriptiva, explicativa y demostrativa. A través de estos aspectos, se podrá comprender las distintas características de la propuesta planteada. La investigación descriptiva permitirá comprender sus características de manera detallada. También, la investigación explicativa permitirá entender los elementos relacionados con el problema planteado para establecer una solución más adecuada y realista. Además, con respecto a la investigación demostrativa, se establecerá una combinación entre todas las investigaciones previas para desarrollar una propuesta de prototipo que cumpla con las características estructurales, constructivas, y sostenibles determinados desde su diseño.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Análisis del lugar

4.1.1 Antecedentes históricos del lugar

Colta, reconocida como cuna de significativos avances históricos, arquitectónicos y arqueológicos, fue el epicentro de la cultura Puruhá en tiempos prehispánicos, consolidándose como la primera ciudad hispana hasta su trágica destrucción a causa del terremoto de 1797. Posteriormente, el 2 de agosto de 1884, se estableció como el actual cantón, llevando consigo la rica herencia de su pasado.

Su riqueza cultural, se manifiesta a través de innumerables testimonios y expresiones que reflejan la estrecha correlación de su gente con el arte, la historia, la cultura, la arquitectura y la arqueología. Conserva elementos distintivos que la destacan entre otras culturas. Además, es considerado como el punto central de intercambio entre la región costera y andina, marcando una ocupación del área y explotación de los recursos naturales-ambientales característicos de su periodo histórico, desempeñando un papel fundamental en la formación del actual Ecuador.

4.1.2 Ubicación del cantón Colta

Ubicado en el noroccidente de la provincia de Chimborazo, a una altitud de 3.180 m.s.n.m. con una extensión de 850 km², limita al norte con las parroquias de San Juan y Licán del cantón Riobamba. Al sur, colinda con los cantones Guamote y Pallatanga, al este con la parroquia Cebada del cantón Guamote, así como con parroquias como Cacha, Punín y Flores del cantón Riobamba y al oeste limita con la provincia de Bolívar. La ciudad de Villa La Unión es la cabecera cantonal, compuesta por dos parroquias urbanas (Cajabamba y Sicalpa) y cuatro parroquias rurales (Columbre, Santiago de Quito, Juan de Velasco y Cañi).

La economía de la población en este sector, según (PDOT-Colta, 2019), “se fundamenta en actividades agropecuarias, que abarcan siembras, cosechas, y el cuidado de animales”, en la cual la principal producción agrícola incluye cultivos como quinua, habas, papas y cebada, siendo este último el más importante por una producción significativa en la zona.

4.1.3 Topografía

Caracterizado por su superficie geográfica irregular, este territorio atraviesa la cordillera andina, presentando elevaciones que alcanzan hasta los 4389m.s.n.m. representado en la figura 21, mismas que generan un paisaje distintivo, marcado por un recorrido lineal que experimenta una transición entre lo rural y lo urbano. Se observan edificaciones que se entrelazan con huertos y parcelas de tamaño mediano dedicadas al cultivo de cereales como trigo, quinua, maíz, habas, papas y, en particular, cebada. Según (Ramírez, 2018) “estos terrenos poseen pendientes suaves,

inferiores al 10%, lo que facilita la tecnificación del cultivo y previene la erosión del suelo”, haciendo que estos espacios estén delimitados por muros vegetales naturales. Además, estos terrenos albergan antiguos muros secos construidos con piedra y tierra, dotándolos de una belleza que rememora la ancestral práctica de dividir los predios. Aquí, se pueden apreciar formaciones de pequeñas mesetas, cerros, llanuras y depresiones, con pendientes suaves, siendo lugares claves para los asentamientos de los principales poblados de la parroquia Cajabamba, así como la zona de planicie que incluye la parroquia Santiago de Quito, con localidades como Balbanera y la Laguna de Colta.

4.1.4 Clima

La ubicación, extensión y altitud del cantón, representado en la figura 21, generan la presencia de diversos microclimas, haciendo que la temperatura en esta área tenga un rango promedio que oscila entre los 6°C y los 20°C. No obstante, es la temperatura del aire el factor más significativo que influye en las diferenciaciones que afectan la evolución, progreso y productividad de los cultivos agrícolas para comprender la disponibilidad y el régimen térmico de la localidad.

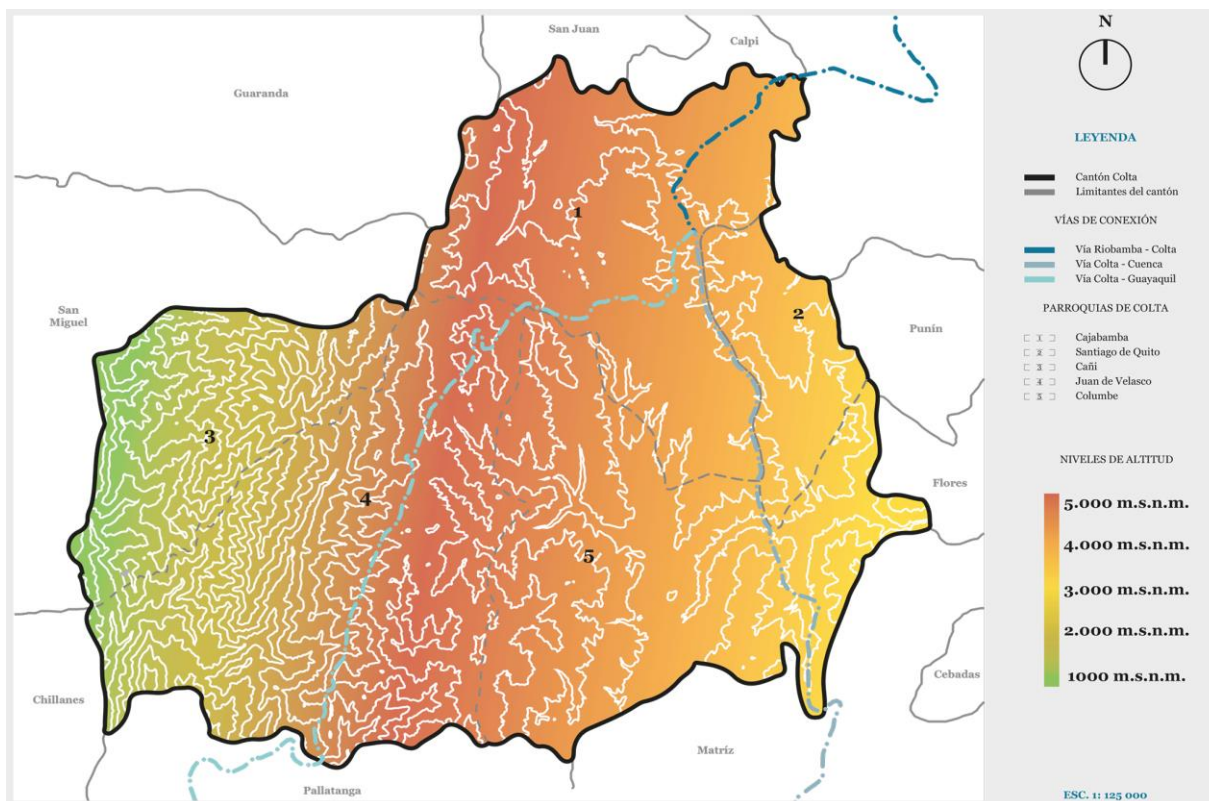


Figura 21: Mapa topográfico y altitudes del cantón Colta.

Fuente: (PDOT-Colta, 2019)

El cultivo de cebada se caracteriza por ser adaptable a diversas condiciones climáticas, y aunque prospera mejor en climas frescos y moderadamente secos, presenta bajos requisitos de unidades térmicas para su madurez fisiológica. Este cereal puede crecer en altas latitudes y altitudes debido a este aspecto, siendo importante tener en cuenta las temperaturas requeridas para las distintas etapas del cultivo de cebada. Así, según (Ramírez, 2018) “las temperaturas mínimas que necesita la cebada son de 6°C para germinar, 10°C para florecer y 12°C para madurar”, haciendo que estas etapas se desarrollan en sintonía con el cambio de estación climática, representados en la tabla 4, donde se presentan los valores de temperatura media que permiten cuantificar la aptitud climática regional.

Tabla 4. *Temperatura media y anual del cantón Colta*

ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
12.5	11.9	11.9	12.9	12.1	10.9	10.0	12.1	13.2	14.1	13.8	13.2	13.5

Fuente: (INAMHI, 2024)

4.1.5 Usos de suelo

El cantón Colta contiene una superficie de 83.382,19 hectáreas, asentadas sobre tierras compuestas por cangahua y cascajo, que alberga minas de piedra caliza, caolín y arena. Estos suelos en el cantón, son un recurso natural esencial para la población, sirviendo como fuente vital para la producción de alimentos como se representa en la figura 22.

Esta diversidad de usos de suelo que contiene el cantón tanto por su geografía como por las actividades económicas y culturales de sus habitantes, son el reflejo del desempeño polifuncional del territorio de Colta y su capacidad para solventar y solucionar las necesidades sociales y habitacionales de su población a través de un equilibrio entre desarrollo económico, ambiental y cultural.

Los suelos ubicados en altitudes que oscilan alrededor de los 2.500 m.s.n.m. son suelos que presentan un color pardo grisáceo y textura franco arenosa. Aunque también existen otros situados por encima de los 3.000 m.s.n.m. que reflejan un tono negro oscuro y una textura predominante de arcillosa, que se clasifican según la composición establecidos en la tabla 5.

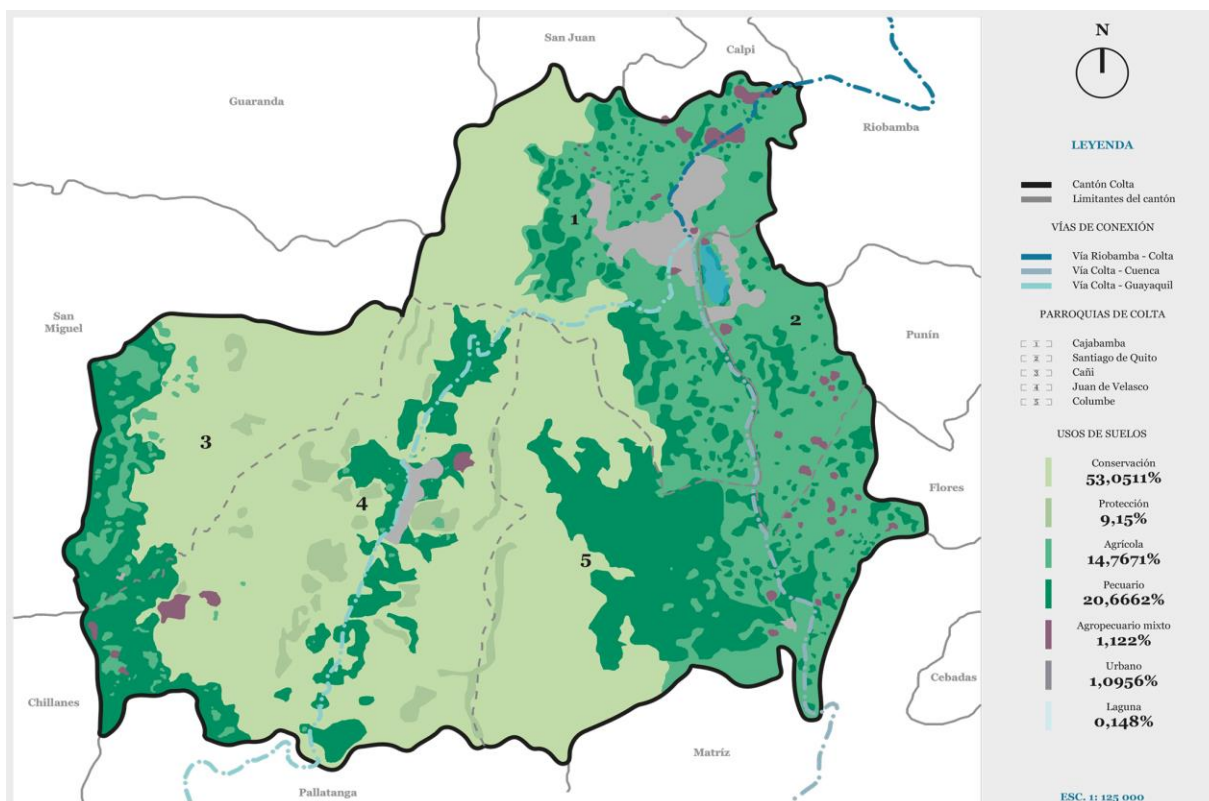


Figura 22: Mapa de usos de suelos del cantón Colta.
Fuente: (PDOT-Colta, 2019)

Tabla 5. Tipos de suelos y sus características del cantón Colta.

Tipo de suelo	Características	Uso	Producto	Hectáreas	Porcentaje
Alfisol	Se encuentra en áreas con relieve volcánico colinado elevado en los alrededores de Sicalpa, caracterizados por la presencia de tobas, clastos y lavas. Estos suelos exhiben una fertilidad de nivel medio.	Poca producción de cultivos debido a las condicionantes físicas de trabajo con maquinaria.	Tierras improductiva	326,28 ha	0,3913%
Andisol	Se encuentra en la zona central del cantón, en coluvios, gargantas, relieves volcánicos y colinados, así como en superficies y valles, se encuentran estructuras geológicas como Sicalpa, Cangagua y Yunguilla. Los suelos en esta área tienden a ser poco profundos, con una fertilidad de nivel medio.	Conservación vegetal natural debido a que presentan limitaciones de producción agrícola.	Vegetación herbácea	7.629,46 ha	9,15%
Entisol	Se encuentra en áreas de coluvios, relieves, colinados y superficies volcánicas, pertenecientes a las formaciones de Sicalpa, estos suelos tienden a ser poco profundos, pedregosos y con una fertilidad baja.	Se desarrolla actividades agrícolas, pecuarias o forestales.	Acelga Alcachofa Arveja Brócoli Cebolla Centeno Chocho Cilantro Col Coliflor Frejol Haba Lechuga	6,95 ha 8,46 ha 20,50 ha 215,50 ha 170,30 ha 15,85 ha 23,92 ha 15,43 ha 33,57 ha 4,41 ha 85,25 ha 1.537,58 ha 37,27 ha	0,0083% 0,0101% 0,0246% 0,2585% 0,2042% 0,0190% 0,0287% 0,0185% 0,0403% 0,0053% 0,1022% 1,8440% 0,0447%

Histosol	Estos suelos presentan condiciones hídricas desfavorables y contienen materiales orgánicos sin propiedades fértiles. Se localizan en las depresiones lagunares que rodean la laguna de Colta.	Producción de totora para elaboración de artesanías locales.	Maíz Manzanilla Melloco Nabo Oca Papa Perejil Quinua Remolacha Tomate Trigo Zanahoria Sin cultivo	2.302,14 ha 1,18 ha 9,94 ha 232,46 ha 24,65 ha 1.794,08 ha 5,61 ha 2.573,16 ha 3,52 ha 23,94 ha 141,50 ha 49,14 ha 156,76 ha	2,76% 0,0014% 0,0119% 0,2788% 0,0296% 2,1516% 0,0067% 3,0860% 0,0042% 0,1880% 0,0287% 0,1697% 0,0589%
Inceptisol	Se presentan en coluvios, glacis de esparcimiento, terrazas y escarpes de terraza con pendientes diversas. Son suelos con textura franca en la superficie y franco arcillosa en profundidad, exhiben niveles de fertilidad que varían entre alta y mediana.	Cultivos intensivos de cebada con labores de maquinaria.	Cebada	2.819,46 ha.	3,3814 %
Molisol	Se presentan en relieves volcánicos y superficies, formando parte de la formación Cangagua. También se encuentran en unidades más pequeñas en el centro norte del cantón, en superficies volcánicas de Sicalpa. Se caracterizan por tener un horizonte endurecido o cangagua.	Presentan poca a moderada profundidad y niveles de fertilidad que varían entre alta y mediana.	Matorrales alterados	2.804,47 ha	3,3634%
No aplicable	Estas zonas comprenden áreas de expansión urbana, bosque protector y cursos de ríos dobles.	Se encuentran predominantemente en la parte occidental de las parroquias Santiago de Quito, Villa La Unión y Columbe.	Urbano	1.537,58 ha	1,0956%
Tierras misceláneas	Estas no se caracterizan como unidades de suelo o taxonómicas y abarcan características como barrancos, circos glaciares, terrazas bajas, playas marinas, estuarios y cauces actuales de divagación de los ríos.	Condiciones destinadas al uso forestal con objetivos de conservación.	Eucalipto Pino	1.696,60 ha 1.826,02 ha	2,0347% 2,1899%
TOTAL				83.382,19 ha	100%

Fuente: (MAGAP, 2024)

4.2 Análisis de producción de fibras de cebada

4.2.1 Climas de producción de cultivos de cebada

La presencia de los diferentes microclimas dentro del cantón, según (Ponce, Garófolo, Velásquez, Noroña, & Jiménez, 2023) “sus altitudes van de 2400 a 3400 m.s.n.m. con precipitaciones anuales de 400 a 700 mm y temperaturas de 10°C a 20°C”, provocando porcentajes de producción que varían dependiendo de la zona.

- a) **Climas fríos de las Cordilleras Heredadas de Formas Paleo glaciares:** Este cultivo abarca el 39.73% de la totalidad en el cantón y se sitúa en la región central, a altitudes de 3500 a 4300 m.s.n.m. La zona presenta circos glaciares en las cimas de relieves montañosos, con frecuentes tierras pantanosas que forman ombligos, donde se encuentran numerosos lagos pequeños. El área cuenta con relieves montañosos caracterizados por cimas redondeadas y vertientes cubierta por cangagua. Se distinguen

por la práctica predominante del cultivo de cebada, aunque también se llevan a cabo cultivos de haba, papa y actividades ganaderas. Entre sus principales localidades se encuentran Hierba Buena, San Isidro, Santa Isabel, Comuna Guacana San Isidro, Tepeyac, Sicalpito, Nutu Ucsha y Guiñatus Chico.

- b) **Relieves de los Márgenes de las Cimas Frías:** Representa alrededor del 22.93% de la superficie total y se distingue por sus relieves colinados altos a montañosos, con pendientes en forma de vertientes irregulares propias de la formación Yunguilla. La altitud varía entre 2800 y 3600 m.s.n.m. Se distinguen por el uso de tierras agrícolas destinadas al cultivo de papa, haba, cebada y actividades ganaderas. Entre sus principales localidades se encuentran Primavera de Iniacoto, Comunidad Agua Dulce, San Martín de Iniacoto, Raydoma, Las Palmas, Malpotillo y La Florida.
- c) **Vertientes y Relieves Superiores de las Cuencas Interandinas sobre Volcanismo de la Sierra Norte:** Este cultivo ocupa alrededor del 26.7% de la superficie total en el cantón y está vinculado directamente con relieves volcánicos colinados de medianos a montañosos, caracterizados por cimas redondeadas a altitudes que oscilan entre 3200 y 3600 m.s.n.m. Se distinguen por el uso de tierras agrícolas destinadas al cultivo de cebada, haba y papa. Entre sus principales localidades se encuentran Achin, San Antonio, Tepeyac Gatazo, Cañi y San Isidro de Yunguilla.
- d) **Medio Aluvial / Fluvial:** Con una representación de aproximadamente el 10.64%, esta zona está influida principalmente por la acción de los ríos y quebradas de Pallo, Chimbo, Pangor, Columbe, Cajabamba, Colorado, Cañi, Chibunda, Gahuijon, Llinllin y Guashi. Estos cuerpos de agua atraviesan el cantón en dirección Este-Oeste, dando lugar a la formación de terrazas y valles fluviales. Estos terrenos se caracterizan por el aprovechamiento agrícola, con cultivos de cebada, haba, maíz y prácticas ganaderas. Entre sus principales localidades se encuentran Bellavista, Gatazo Zambrano, Gatazo Grande, Chaupi San Antonio y Ocpotillo Chico.

4.2.2 Suelos de producción de cultivos de cebada

La cebada es un cereal que se desarrolla de manera óptima en suelos fértiles, logrando buenos rendimientos incluso en terrenos poco profundos y pedregosos, siempre que haya suficiente humedad al inicio de su crecimiento. Aunque muestra resistencia a la salinidad excesiva, no se adapta adecuadamente a suelos muy arcillosos, y la compactación del suelo dificulta la germinación y las etapas iniciales de su crecimiento. Notablemente, la cebada destaca por su alta tolerancia al calcio, prosperando en suelos muy calizos conocidos comúnmente como “cebaderos”.

El cultivo de cebada, según (INIAP, 2024), “abarca una superficie de 2.819,46 hectáreas equivalente al 3.3814% del total de la cobertura de superficie dentro del cantón Colta”, esta área se distribuye principalmente en las parroquias de Villa La Unión, Santiago de Quito y Columbe, aunque se destaca la mayor producción en las zonas montañosas de las parroquias Juan de Velasco y Cañi representados en la figura 23.

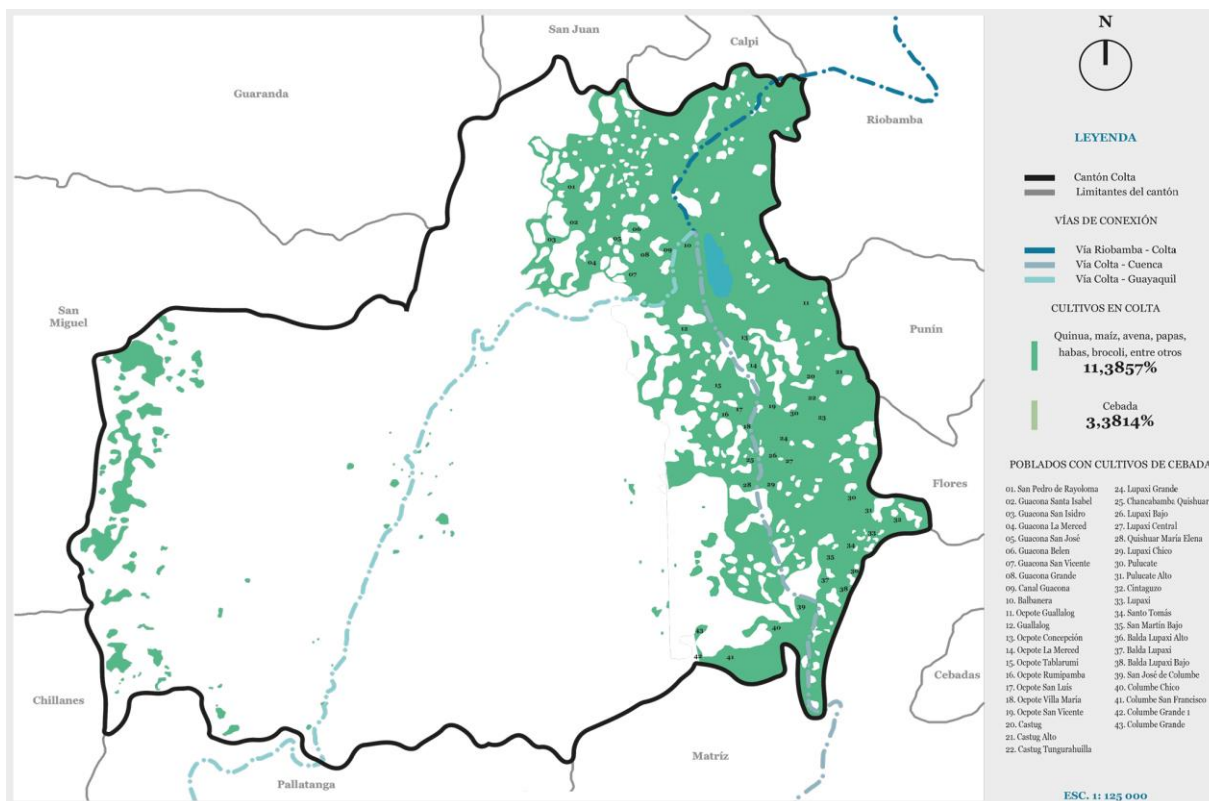


Figura 23: Mapa de cultivos de cantón Colta

Fuente: (PDOT-Colta, 2019)

4.2.3 Procesos de producción de fibras de cebada

Es necesario conocer las etapas fenológicas que desarrolla el cultivo para identificar las acciones que se ejecutan y que permite realizar actividades de sustento y cuidado del cultivo para llegar a tener una buena elaboración como se representa en la figura 24.

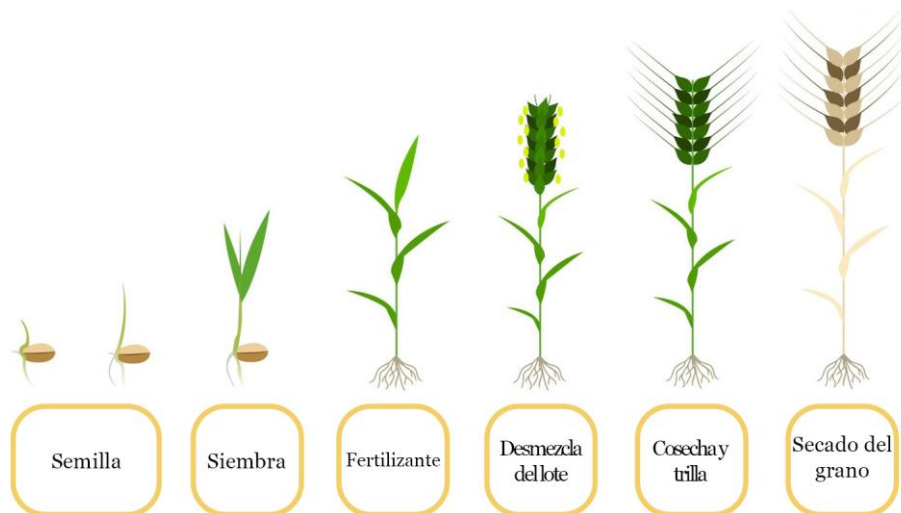


Figura 24: Estados y procesos de cultivos de cebada

Fuente: (INIAP, 2024)

- a) **Actividad 1. Semilla:** La selección de semillas de calidad genética implica considerar su calidad física, asegurándose de que estén libres de impurezas y semillas de otras especies, garantizando su salud y ausencia de enfermedades.

Usos: Estas semillas son esenciales en la producción de cebada, contribuyendo a mayores rendimientos en las cosechas mediante un seguimiento y verificación cuidadosos de las actividades agrícolas.

Desperdicios: Gracias a su proceso de calidad genética, estas semillas no generan desperdicios, ya que aseguran la pureza, homogeneidad y estabilidad del cultivo.

- b) **Actividad 2. Siembra:** Según (INIAP, 2024) “en el centro-sur de Ecuador, especialmente en provincias como Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, las siembras de cebada tienen lugar entre noviembre y enero”, esta planificación asegura que la cosecha coincida con la temporada seca, iniciando durante el invierno.

Usos: En cuanto a su manejo, es crucial sembrar la cebada a una profundidad no mayor a 5 cm para garantizar una rápida germinación, evitando que se ahogue y se pierda.

Desperdicios: Dependen de la calidad de la semilla, con un desecho no reutilizable máximo del 5%.

- c) **Actividad 3. Fertilizante y control de plagas:** La actividad de fertilización en la producción de cebada según (INIAP, 2024) “se realiza principalmente con el uso del fertilizante nitrogenado llamado UREA, aplicado en proporciones de 100 kg/ha”, esta cantidad se fracciona en dos partes para lograr un rendimiento y calidad óptimos del

grano de cebada. Sin embargo, es importante señalar que temperaturas inferiores a 6°C o superiores a 20°C pueden propagar plagas transportadas por el viento, causando pérdidas de rendimiento que superan el 50%.

Usos: Estos fertilizantes se aplican como nutrientes con el objetivo de obtener un rendimiento promedio de 4 toneladas por grano.

Desperdicios: Según (INIAP, 2024) “se produciría pérdidas del producto de hasta el 80%”, esto debido a la falta de aplicación de estos fertilizantes.

- d) **Actividad 4. Desmezcla del lote:** La limpieza del cultivo de cebada se lleva a cabo con el propósito de mantenerlo libre de impurezas y prevenir mezclas con otros cereales, contribuyendo así a la prevención de enfermedades. Este proceso es esencial y se realiza al inicio del espigamiento, cuando el cultivo inicia su etapa de madurez fisiológica, evidenciada por el color amarillento del cereal.

Usos: La finalidad de esta actividad es optimizar la calidad y pureza de la cebada.

Desperdicios: Según el (INIAP, 2024) “se genera un desperdicio de alrededor del 10% por hectárea”, compuesto por malezas, tallos infértiles y otros agentes invasores. Estos desechos suelen ser quemados o utilizados como alimento para animales.

- e) **Actividad 5. Cosecha y trilla:** La cosecha de cebada se lleva a cabo cuando el cultivo ha alcanzado la madurez en el campo. Para áreas pequeñas, se utiliza una hoz, mientras que en áreas extensas se emplean comúnmente máquinas trilladoras estacionarias o tracción animal. Durante esta etapa, se cortan las espigas y se agrupan atándolas entre sí para formar gavillas. Estas gavillas se extienden en un espacio libre para separar el grano del tallo (paja), que luego se agrupan en forma de pacas.

Usos: Esta operación de separación genera desechos de fibras de paja de cebada, estos elementos serán considerados para la propuesta del proyecto.

Desperdicios: Se considera una relación 1:1, ya que la cosecha de 1 hectárea de grano de cebada genera 1 hectárea de paja desechada.

- f) **Actividad 6. Empacado de fibras de paja:** Después de la clasificación, los tallos, identificadas como fibras o pajas, que permanecen en el campo son agrupados en pacas, requiriendo que el material esté completamente seco. Este proceso de empacado se lleva a cabo principalmente de manera mecanizada mediante el uso de máquinas empacadoras. Las pacas resultantes tienen dimensiones aproximadas de 0,80 m y 1,20 m x 0,40 m x 0,40 m, generando alrededor de 150 a 250 pacas por hectárea.

Usos: Estas pacas tienen diversos usos, siendo comercializadas como alimento para animales, abono para otros cultivos y también utilizadas para la quema de desechos.

Desperdicios: Según el (INIAP, 2024) “aproximadamente el 50% se destina como alimento para animales, el 30% como abono para otros cultivos, y el 20% se quema in situ”.

- g) Actividad 7. Secado y almacenamiento del grano:** El grano cosechado inicialmente presenta más del 18% de humedad, por lo que se requiere un proceso de secado para reducirlo a no más del 13%. Para ello, se extiende el grano sobre un tendal colocado en una superficie limpia cubierta con plástico transparente durante 2 o 3 días, dependiendo de las condiciones ambientales, se realiza el movimiento del grano al menos tres veces al día.

Usos: El grano secado se convierte en el producto final, listo para el consumo humano, con niveles nutritivos alcanzados durante su madurez.

Desperdicios: En este punto, no se generan desechos ya que el grano ha pasado por un proceso de selección en cada etapa.

4.3 Arquitectura vernácula del cantón Colta

4.3.1 Arquitectura vernácula andina

La arquitectura vernácula de la sierra ecuatoriana representa un conjunto diverso de técnicas y estilos constructivos originados en las diversas comunidades locales a lo largo del territorio andino del territorio ecuatoriano. Estas prácticas arquitectónicas han evolucionado como respuesta a las condiciones climáticas, geográficas y culturales únicas de cada región. Principalmente, estas son caracterizadas por el empleo de materiales locales como el adobe, el tapial, la piedra y la teja artesanal de barro, esta arquitectura no solo demuestra una adaptación ingeniosa al entorno natural, sino también un extenso conocimiento transmitido de generación en generación. Esta forma de construir no solo responde a necesidades prácticas, como la regulación de la temperatura interna, sino que también refleja una conexión cultural y un compromiso con la sostenibilidad local generados a través de la preservación de estas técnicas tradicionales que conserva no solo el patrimonio arquitectónico, sino también la identidad cultural, constructiva y la memoria colectiva de las comunidades andinas del Ecuador.

4.3.2 Arquitectura vernácula local

La arquitectura vernácula del cantón Colta es caracterizada por la capacidad y adaptación de las comunidades andinas a su entorno montañoso natural. Esta arquitectura muestra el empleo de materiales locales y técnicas constructivas heredadas a través de generaciones, lo que demuestra un profundo entendimiento del medio que habitan junto con un firme compromiso con la conservación de la naturaleza. Este empleo de recursos naturales locales y métodos de construcción con bajo impacto ambiental, genera una arquitectura sostenible. Estas construcciones locales utilizan materiales disponibles en la región, lo que disminuye la necesidad de transporte, reduciendo la huella de carbono. Estas técnicas constructivas tradicionales promueven la autosuficiencia y la resiliencia de las comunidades, permitiéndoles preservar sus tradiciones y formas de vivir en conjunto con su entorno natural.

- a) **Técnicas constructivas:** Las construcciones vernáculas se distinguen por el uso predominante de materiales como el adobe, el tapial (barro apisonado), la piedra y la teja artesanal de barro. El adobe, formado por una mezcla de barro, paja y agua, es moldeado en bloques y secado al sol, permite generar muros gruesos en la construcción en obra con excelente capacidad de aislamiento térmico. El tapial, se caracteriza por la compactación de tierra húmeda dentro de un encofrado generalmente de madera, produciendo paredes sólidas y duraderas (muros autoportantes). La piedra, es empleada como una base sólida y resistente, constituyendo las cimentaciones de las construcciones. Las tejas artesanales, son producidas por barro o arcilla local, estos elementos se los utilizan en los techos inclinados característicos de las construcciones vernáculas, con el objetivo de proteger a la vivienda y sus habitantes de las diferentes situaciones climáticas.
- b) **Adaptación al entorno:** Esta arquitectura está tiene las características apropiadas para adaptarse a las condiciones climáticas de la región andina. Sus gruesos muros de adobe y tapial autoportantes funcionan como aislantes naturales, conservando los interiores frescos durante el día y el calor durante las noches frías. Las ventanas, de tamaño reducido, reducen la pérdida de calor y establecen protección contra los vientos fuertes. Además, sus techos inclinados de tejas permiten la canalización del agua de lluvia y proporcionan una capa adicional de aislamiento.
- c) **Distribución funcional:** La distribución interna de esta arquitectura está diseñada para solucionar las necesidades prácticas y sociales de sus habitantes. Sus casas se organizan alrededor de un patio central, sirviendo este tanto como espacio de convivencia como también para el área de trabajo. Las habitaciones se disponen en torno a su patio central, ofreciendo privacidad y protección contra los elementos. Aunque también en algunas situaciones, las viviendas incluyen espacios específicos para actividades agrícolas y ganaderas, pero también para áreas de almacenamiento de alimentos y herramientas.

- d) **Elementos decorativos:** En algunas construcciones existen elementos simbólicos que constituyen una parte esencial de esta arquitectura vernácula. Conformado por frisos y molduras en sus fachadas, pinturas murales y figuras tallados en puertas y ventanas, son el reflejo de su identidad cultural y las creencias de la comunidad local. Estos elementos decorativos se diferencian entre regiones, incorporando símbolos que poseen un significado cultural importante para los habitantes locales.
- e) **Edificaciones vernáculas en el cantón Colta:** En el cantón Colta aún se pueden encontrar construcciones que reflejan su historia, cultura y adaptación al entorno, distribuidas a lo largo del cantón representadas en la figura 25. Estas, están caracterizadas por su diseño y técnicas constructivas, que no solo cubren necesidades habitables prácticas, sino que también conservan una amplia y diversa identidad cultural. En la actualidad, estas edificaciones demuestran un profundo entendimiento de la naturaleza y un firme compromiso con la sostenibilidad donde la preservación de la arquitectura vernácula enfrenta retos derivados de procesos como la industrialización y la modernización. Sin embargo, ha empezado a surgir un interés creciente por revitalizar estas prácticas tradicionales, reconocidas como la identidad constructiva gracias a su importancia cultural y medioambiental.





Ubicación: Cajabamba (Villa La Unión), San Pedro de Rayoloma
Descripción: Construida en el Siglo XX, está implantada de manera aislada con retiros hacia sus fachadas, cuenta con 1 patio y 2 corrales para ganado.



Ubicación: Cajabamba (Villa La Unión), Balbanera
Descripción: Construida en el Siglo XVIII, está implantada al borde de la vía Riobamba - Colta con retiro posterior, cuenta con un patio y 2 corredores.



Ubicación: Cajabamba (Villa La Unión), Mishquilli
Descripción: Construida en el Siglo XX, está implantada de manera aislada con retiros hacia sus fachadas, cuenta con 1 patio, 1 huerto y 2 corredores.



Ubicación: Santiago de Quito, Ocpote Concepción
Descripción: Construida en la época republicana, en el primer cuarto del Siglo XX, caracterizada por la utilización de materiales propios del sector para su ejecución.



Ubicación: Santiago de Quito, Ocpote La Merced
Descripción: Construida en la época republicana del primer cuarto del Siglo XX, caracterizada por la utilización de materiales propios del sector para su ejecución.



Ubicación: Santiago de Quito, Lupaxi Chico
Descripción: Construida en la época republicana, en el primer cuarto del Siglo XX, implantada de manera aislada con retiros en sus fachadas, vivienda de una planta de forma rectangular, con 1 patio y 1 corredor.



Ubicación: Columbe, San Martín Bajo
Descripción: Construida en la época republicana en el segundo cuarto del Siglo XX, caracterizada por la utilización de materiales propios del sector para su ejecución.



Ubicación: Columbe, Pulucate
Descripción: Construida en la época republicana, en el primer cuarto del Siglo XX, caracterizada por la utilización de materiales propios del sector para su ejecución.



Ubicación: Columbe, Columbe Chico
Descripción: Construida en la época republicana en el segundo cuarto del Siglo XX, caracterizada por la utilización de materiales propios del sector para su ejecución.



Ubicación: Columbe, Balda Lupaxi Bajo
Descripción: Construida en la época republicana, en el primer cuarto del Siglo XX, caracterizada por la utilización de materiales propios del sector para su ejecución.

Figura 25: Ubicación de las edificaciones vernáculas en zonas de cultivo de cebada del cantón Colta

Fuente: (PDOT-Colta, 2019)

Los objetivos actuales de conservación abarcan una participación de nuevas generaciones en técnicas constructivas tradicionales, la adaptación de tecnologías contemporáneas que respeten los fundamentos vernáculos, y la promoción de una arquitectura menos invasiva como una opción sostenible y culturalmente relevante.

4.3.3 Edificaciones vernáculas en zonas de cultivo de cebada

La ubicación de las edificaciones vernáculas realizada previamente, se caracterizan de manera particular por estar ubicadas en zonas donde existen campos de cultivo de cebada que se extienden en áreas distribuidas de manera natural en diversos poblados. Estos, comparten características similares, destacando la presencia persistente de edificaciones vernáculas en diversos estados de deterioro, e incluso algunas en ruinas.

Estas construcciones vernáculas contienen diferentes usos, sin embargo, para esta investigación, es necesario seleccionar un caso de estudio particular que responda a las necesidades habitacionales locales de la población del cantón Colta. Por lo tanto, de la ubicación de las edificaciones vernáculas establecidas en la figura 25, se ha elegido la edificación N° 2 como objeto de estudio representadas en las figuras 26, 27 y 28 para establecer una posible propuesta de solución constructiva. Está ubicada en la parroquia Cajabamba, construida en el siglo XVIII implantada al borde de la vía Riobamba – Colta.

La selección de esta edificación, permitirá mantener un sistema arquitectónico funcional, preservando las funciones generales de la tipología de viviendas y las diversas etapas constructivas de estas manifestaciones patrimoniales. En este análisis se examinan varios aspectos, como los principios operativos utilizados y las contribuciones fundamentales de estas expresiones culturales que están presentes en el cantón.

En el marco de este estudio, es importante valorar estas edificaciones, ya que constituyen el foco principal de nuestra posible intervención. Para lo cual, se busca generar soluciones constructivas aprovechando la materia prima disponible en la zona, empleando técnicas que aplican métodos tradicionales, pero sobre todo que sean tecnificados. Esta propuesta que fomenta un sistema constructivo basado en fibras vegetales de cereales, está orientada hacia el desarrollo social, económico y ambiental no solo de los habitantes locales sino también de toda la zona andina ecuatoriana.

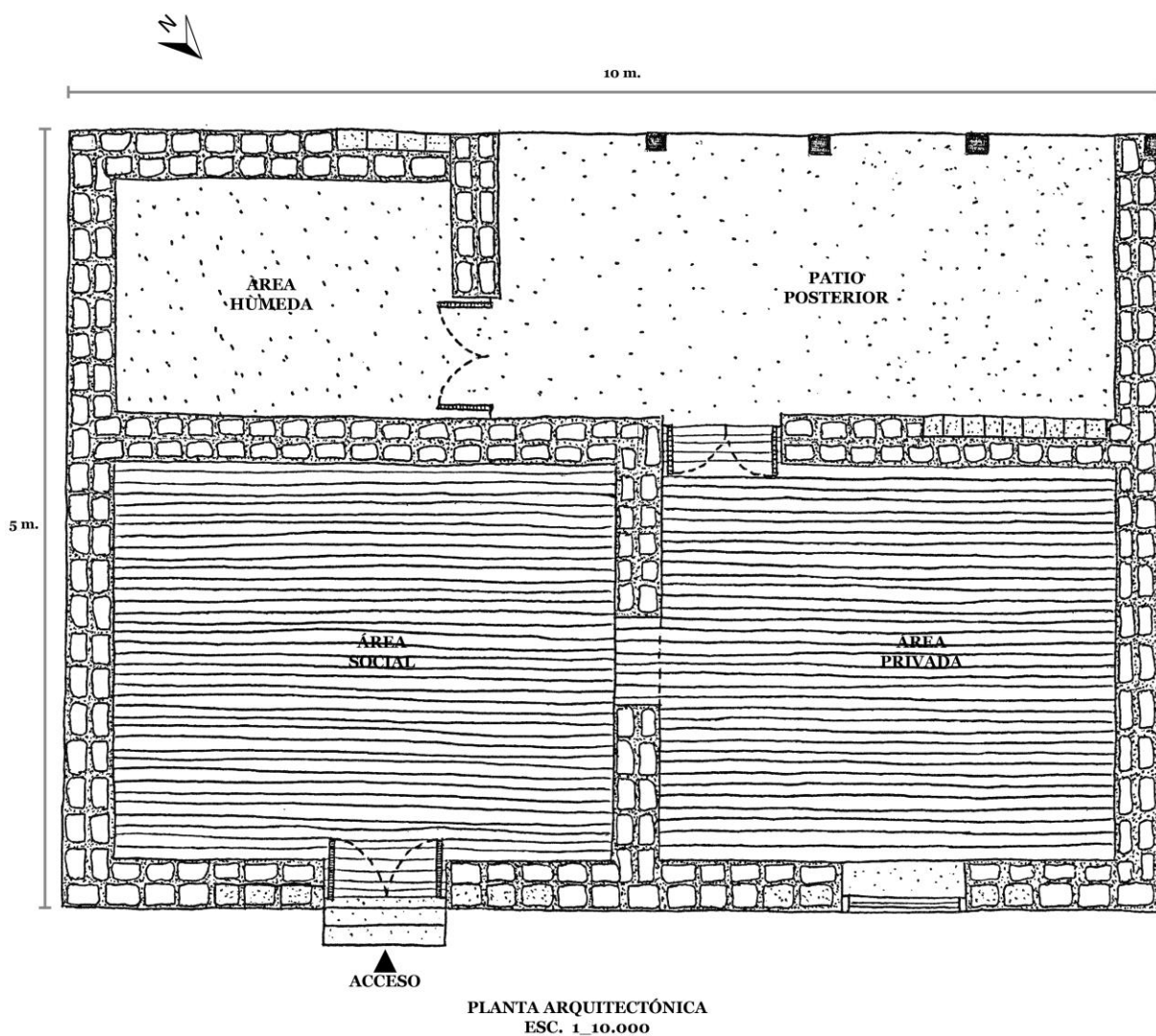
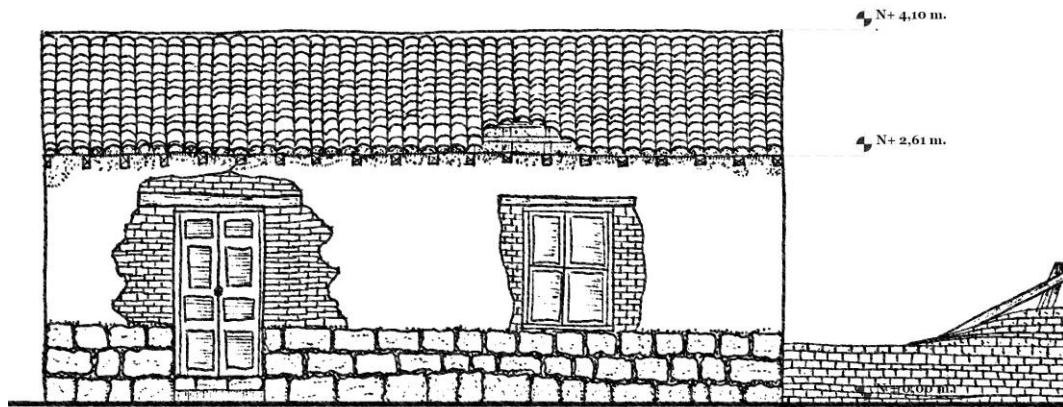
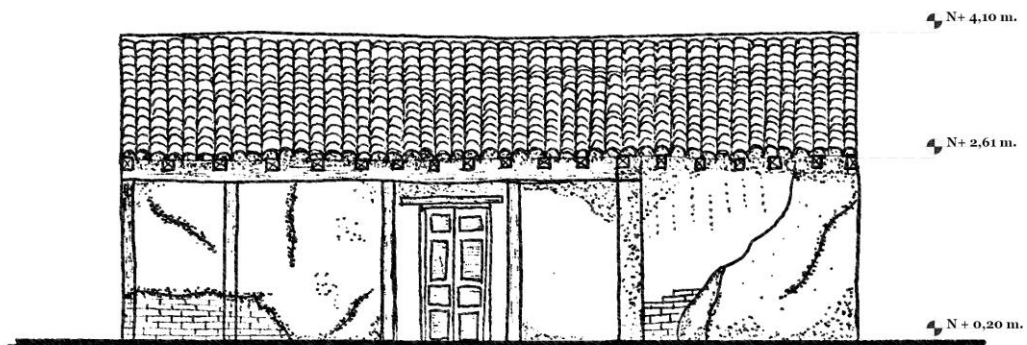


Figura 26: Levantamiento actual de planta arquitectónica de caso de estudio.

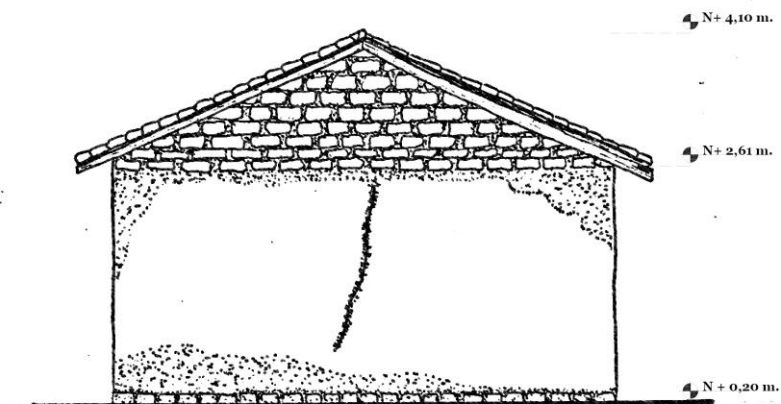
Fuente: (Sagñay, 2024)



ELEVACIÓN NORTE
ESC. 1_10.000

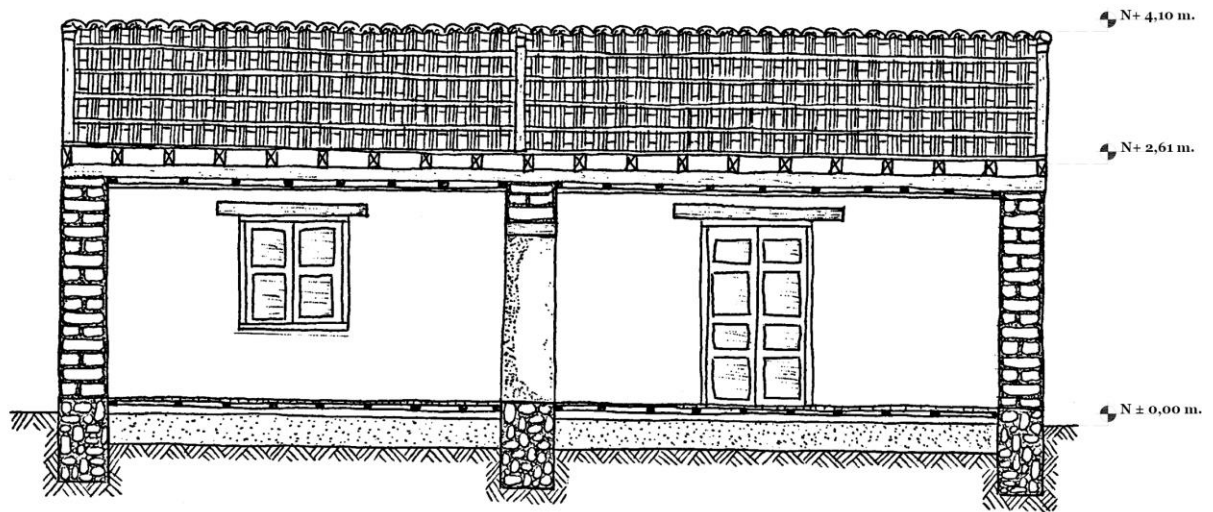


ELEVACIÓN SUR
ESC. 1_10.000

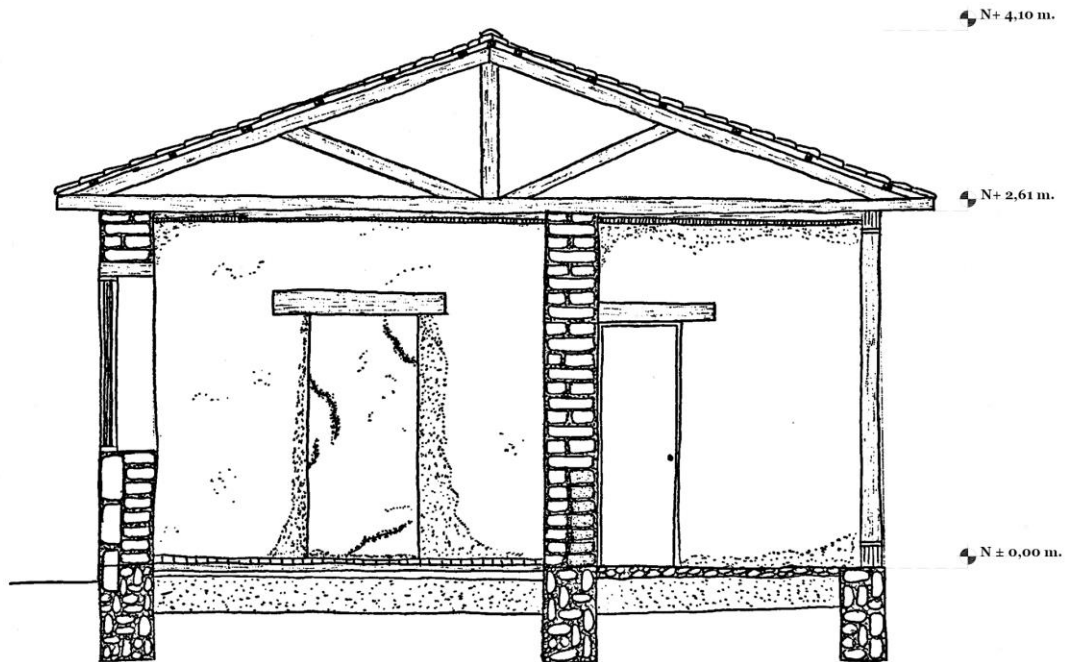


ELEVACIÓN ESTE
ESC. 1_10.000

Figura 27: Levantamiento actual de elevaciones de caso de estudio.
Fuente: (Sagñay, 2024)



SECCIÓN A-A'
ESC. 1_10.000



SECCIÓN B-B'
ESC. 1_10.000

Figura 28: Levantamiento actual de secciones de caso de estudio.

Fuente: (Sagñay, 2024)

4.4 Propuesta de prototipo de bioconstrucción.

Este trabajo de investigación presenta una propuesta de bioconstrucción prefabricada para el cantón Colta, que utiliza paja de cebada con una producción local de 2.819,46 ha. anuales, pero con un desuso de 563,80 ha. Para ello, se emplearán métodos experimentales para formar fardos que permitan aprovechar esta cantidad de material y aplicarlos mediante un sistema autoportante. Así, según (Viera, Aguirre, & Monzo, 2020) “varían su posición según la carga, tanto en plano como en canto, generando respuestas estructurales positivas”, siendo esta polifuncionalidad en la construcción, la que permita establecer soluciones seguras y sostenibles.

4.4.1 Materiales del prototipo



a) Fardos de paja

Los fardos de paja contienen parámetros estructurales comprobados. Según (Viera, Aguirre, & Monzo, 2020), “la densidad de los fardos está entre 80-120 kg/m³, tomando en cuenta que las pruebas realizadas con fardos nacionales contienen una densidad promedio de 88,83 kg/m³”. Basándose en estos parámetros, las maquinas enfardadoras locales producen fardos con dimensiones de 0,38 m. x 0,48 m. y longitudes variables superiores a 0,78 m. considerando importante el uso de fardos convencionales que determinan una reducción en la inversión de su fabricación y amplíen las posibilidades de utilizar medios disponibles apropiados.

Otro parámetro estructural que cumplen los fardos, es el módulo de elasticidad, el cual según (Viera, Aguirre, & Monzo, 2020), “el material deberá tener un módulo entre 0,052 y 0,06 MPa, aunque los resultados obtenidos indican que cumplen con 0,056 MPa en plano y 0,052 MPa en canto” considerando estos parámetros básicos a partir de pruebas realizadas por otros autores.

Además, el esfuerzo a compresión, según (Viera, Aguirre, & Monzo, 2020) “en posición plana se reduce en un 9,86%, lo que equivale a una disminución de entre 3 y 4 cm. mientras que, en posición de canto, la reducción es del 12,29% entre 4 y 5 cm.” estos datos recopilados son importantes ya que son obtenidos de pruebas de muros autoportantes realizados por la Ing. Paulina Viera, representados en la tabla 6.

Tabla 6. Variación de medidas de los fardos.

FARDO SIN CARGAS	FARDO CON CARGAS
	

Fuente: (Sagñay, 2024)

b) Madera

Tipo: Para determinar un sistema de muros autoportantes, es necesario analizar las especificaciones técnicas de los tipos de madera más adecuados. Según (Viera, Aguirre, & Monzo, 2020), “las maderas correspondientes al tipo B o semiduras pueden soportar esfuerzos mínimos de flexión 150 kg/cm², tracción 105 kg/cm² y compresión 110 kg/cm²”. Considerando estas especificaciones, se puede determinar que la madera de pino es viable para esta propuesta, ya que es de tipo B y presenta características técnicas adecuadas.

Medidas y cantidades: Las madera a utilizar son denominados listones, cuyas dimensiones cumplen con las especificaciones técnicas aprobadas para trabajos estructurales en madera, así lo establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2023) para muros y tabiques, “para listones, pies derechos y soleras deben tener secciones mínimas de 25mm. además de estar aserrada y cepillada, aunque también pueden ser reconstruidas o laminadas”. Considerando esta normativa, se determina el uso de listones con dimensiones modulares de 4 cm x 6 cm. Estas dimensiones establecidas permitirán generar listones de varias longitudes, que llegarán a conformar estructuras llamadas “escalerillas” superior, inferior representadas en las tablas 7 y 8 respectivamente y escalerillas laterales representadas en las tablas 9 y 10, que serán necesarias para utilizar como armazón cuya función será soportar la compresión que ejercen los fardos dentro del mismo.

Tabla 7. Listones en escalerilla superior.

Escalerilla superior		
Cantidad	Materiales	Gráfico
2	Listones de madera de pino de 0,04 x 0,06 x 0,90 m.	
4	Listones de madera de pino de 0,04 x 0,06 x 0,37 m.	
16	Tirafondos hexagonales de hierro de 3” 1/4	

Fuente: (Sagñay, 2024)

Tabla 8. Listones en escalerilla inferior.

Escalerilla inferior		
Cantidad	Materiales	Gráfico
2	Listones de madera de pino de 0,04 x 0,06 x 0,90 m.	
4	Listones de madera de pino de 0,04 x 0,06 x 0,37 m.	
16	Tirafondos hexagonales de hierro de 3" 1/4	

Fuente: (Sagñay, 2024)

Tabla 9. Listones en escalerilla lateral izquierda

Escalerilla lateral izquierda		
Cantidad	Materiales	Gráfico
2	Listones de madera de pino de 0,04 x 0,06 x 1,20 m.	
4	Listones de madera de pino de 0,04 x 0,06 x 0,37 m.	
16	Tirafondos hexagonales de hierro de 3" 1/4	

Fuente: (Sagñay, 2024)

Tabla 10. Listones en escalerilla lateral derecha

Escalerilla lateral derecha		
Cantidad	Materiales	Gráfico
2	Listones de madera de pino de 0,04 x 0,06 x 1,20 m.	
4	Listones de madera de pino de 0,04 x 0,06 x 0,37 m.	
16	Tirafondos hexagonales de hierro de 3" 1/4	

Fuente: (Sagñay, 2024)

4.4.2 Proceso constructivo

Dentro de este proceso, es esencial tener listas las escalerillas armadas previamente y disponer de los fardos de paja de cebada. Estos elementos servirán para garantizar que el montaje sea eficiente y cumpla con las funciones requeridas inicialmente. Estas escalerillas, que actúan como la estructura base, deben estar ensambladas con precisión para asegurar la estabilidad y resistencia del módulo final. Los fardos de paja de cebada, previamente seleccionados por sus propiedades y características, deben estar correctamente almacenados y preparados para su uso.

Además, en este punto previo, es necesario utilizar una prensa hidráulica generada específicamente para las necesidades del proyecto. Esta herramienta es muy importante para compactar la paja de manera uniforme dentro de los paneles, garantizando una densidad adecuada que proporcionará la resistencia estructural y las propiedades de aislamiento deseadas representadas en la figura 29. Esta herramienta tendrá características de ajuste manual para aplicar la cantidad exacta de presión para evitar que tanto la compactación insuficiente como la excesiva, que podrían comprometer la integridad del panel.

Es importante establecer que la elaboración previa y adecuada de las escalerillas y los fardos de paja, junto con el uso de una prensa hidráulica, son pasos primordiales para el éxito del armado del prototipo, de esta manera se garantice un producto final de alta calidad y rendimiento

para que puedan ser replicados a gran escala no solo en el cantón Colta sino también dentro de toda la zona andina de la sierra andina ecuatoriana.

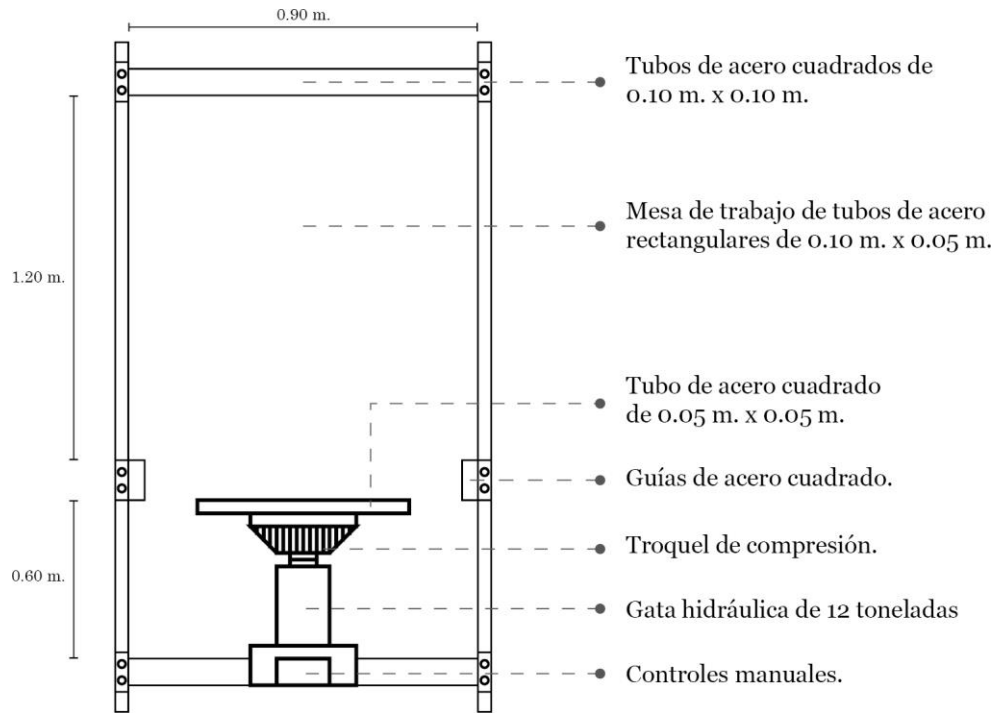


Figura 29: Prensa hidráulica

Fuente: (Sagñay, 2024)

a) Ensamblaje de escalerillas laterales a escalerilla superior

En el primer punto se debe seguir un orden de procesos descritos y graficados en la figura 30.

1. Las escalerillas laterales se instalan en los extremos de la mesa de trabajo.
2. La escalerilla superior se ubica en la parte superior de la mesa de trabajo.
3. Se utilizan platinas de ángulo de acero con un espesor de 2 mm en las cuatro espinas.
4. Se introducen tirafondos de 2 1/4" para unir las escalerillas laterales con la superior.

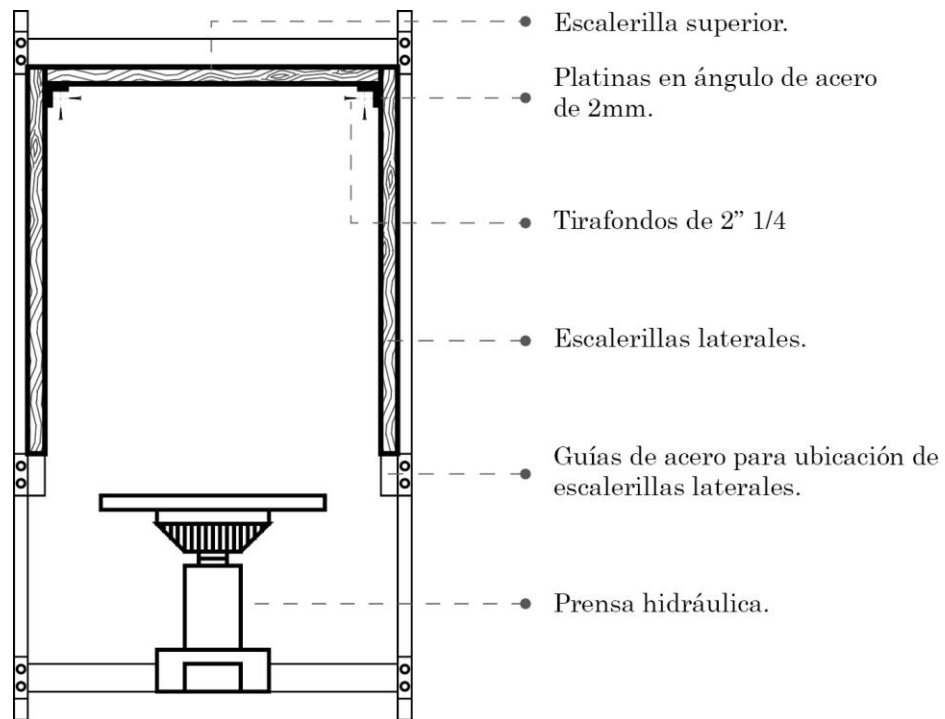


Figura 30: Ensamblaje de escaleras laterales a escalera superior.

Fuente: (Sagñay, 2024)

b) Montaje de fardos de paja

En el segundo punto se debe seguir un orden de procesos descritos y graficados en la figura 31.

1. Se insertan los fardos con medidas de 0.38m. x 0.48m. x 0.78m. en forma ordenada.
2. Se ubica la escalera inferior.

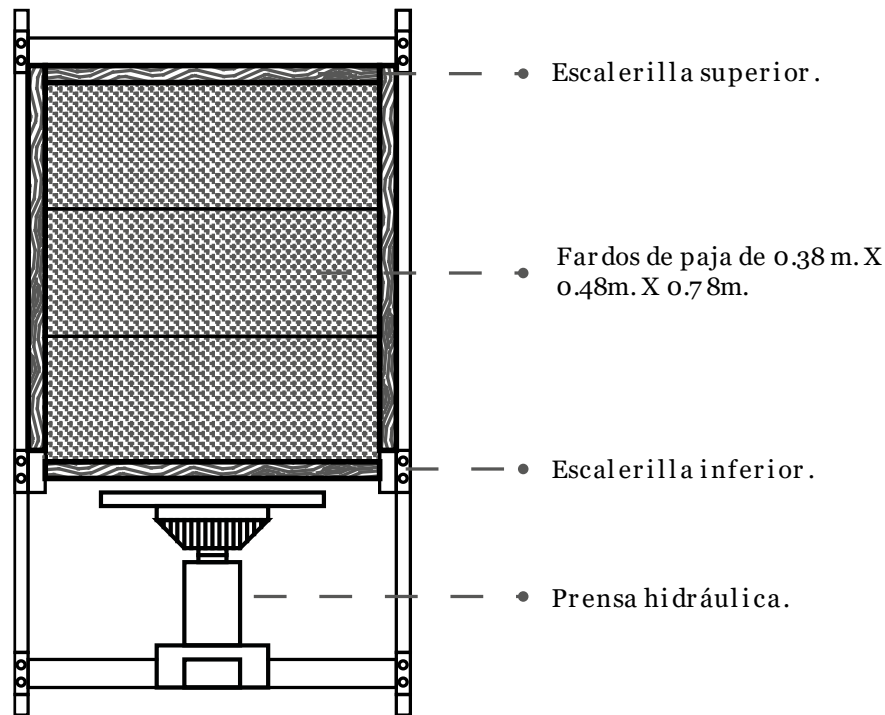


Figura 31: Montaje de fardos de paja.

Fuente: (Sagñay, 2024)

c) Compresión de fardos

En el tercer punto se debe seguir un orden de procesos descritos y graficados en la figura 32.

1. Ayudados de la prensa hidráulica, se comprime desde la escalerilla inferior hasta alcanzar una compresión de 6cm. haciendo que la escalerilla inferior se ensamble directamente con las escalerillas laterales.
2. Se ubica la escalerilla inferior a las escalerillas laterales.
3. Se introducen platinas de acero con un espesor de 2 mm en las cuatro espinas.
4. Se utilizan pernos de 2 1/4" para unir las escalerillas laterales con la inferior.

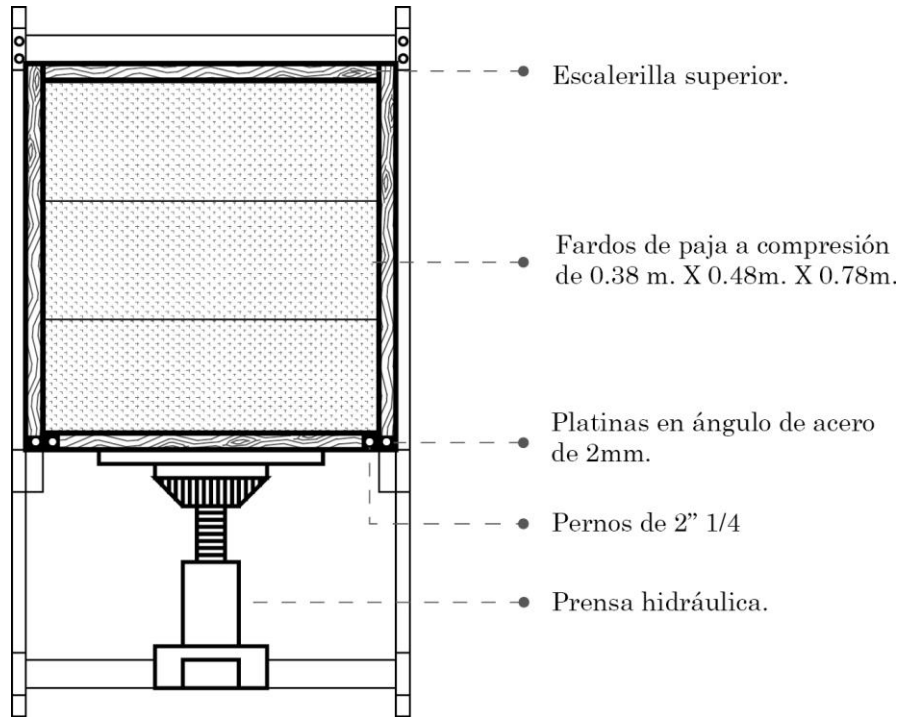


Figura 32: *Compresión de fardos.*

Fuente: (Sagñay, 2024)

d) Prototipo terminado

El producto final representado en la figura 33, contiene los parámetros establecidos previamente, los cuales permiten establecer un producto viable y sostenible que aprovecha eficientemente los recursos naturales renovables originarios de los desechos de las fibras vegetales de cebada.

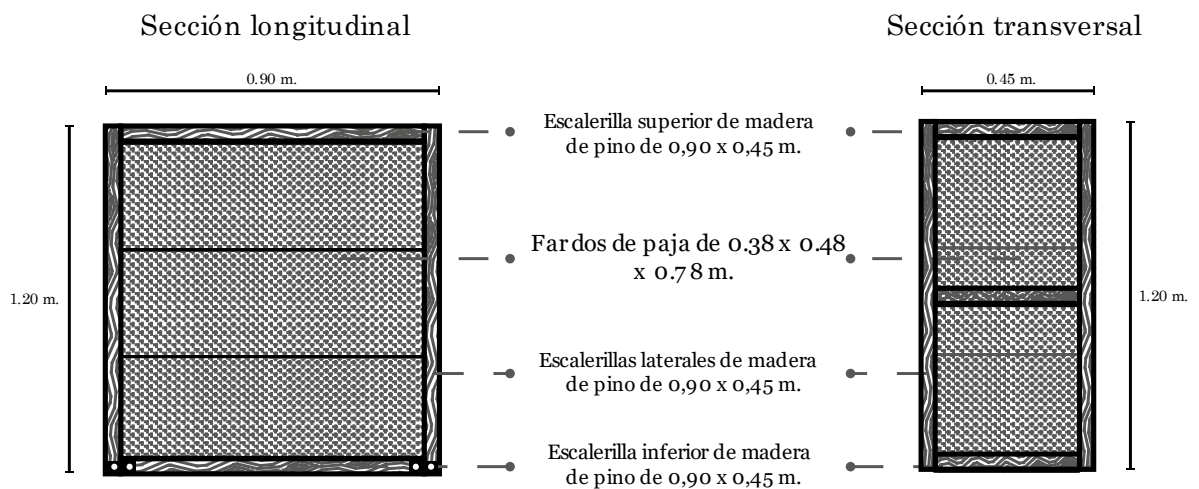


Figura 33: *Prototipo terminado.*

Fuente: (Sagñay, 2024)

4.4.3 Resultado de prototipo prefabricado

El resultado del módulo prefabricado es un componente de construcción sostenible, diseñado para ofrecer una solución eficiente y ecológica en la construcción. Este, está compuesto principalmente por fardos de paja prensada y estructurados dentro de un marco de madera. Esta fabricación de módulos, se realiza bajo controles de calidad, asegurando que cada unidad cumpla con los estándares necesarios de resistencia estructural y eficiencia energética. Además, su estructura de madera facilita el montaje, que se puede realizar con herramientas manuales y tornillería especial, lo que simplifica el proceso de construcción y reduce el tiempo necesario para completar un proyecto.

Es necesario considerar que estos módulos prefabricados, también llamados alfaWALL pueden ser personalizados según las especificaciones de cada proyecto, permitiendo ajustar sus dimensiones y formas a las necesidades arquitectónicas específicas. Sin embargo, esta propuesta está enfocada en tener una modulación de 1,20 m. x 0,90 m. x 0,45 m. representado en la figura 34, para así lograr tener una mejor trabajabilidad en el ensamblado y posterior armado en obra.

Posteriormente queda a consideración de los habitantes de cada proyecto, que estos módulos puedan recubrirse con diversos materiales naturales o artesanales como morteros de arcilla o cal, pero también con elementos prefabricados como tableros de madera u otros materiales según lo requieran sus habitantes.

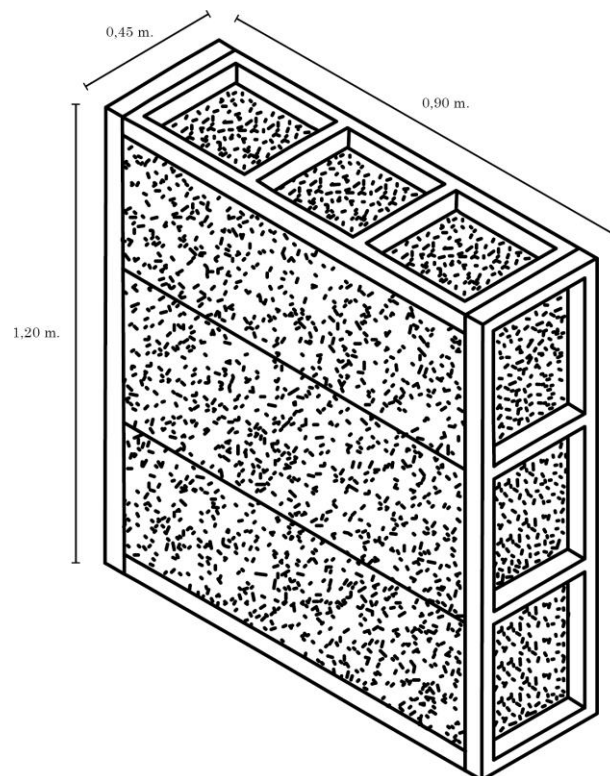


Figura 34: Resultado del módulo de prototipo prefabricado.

Fuente: (Sagñay, 2024)

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La evolución del uso de las fibras vegetales en la construcción, son el resultado de la búsqueda de una vivienda digna y natural, desde su origen artesanal con la técnica Nebraska, posterior invención y evolución de las maquinas enfardadoras hasta la aplicación de prefabricados tecnificados. Los fardos, utilizados por sus propiedades aislantes y su bajo impacto ambiental al ser un material biodegradable, no solo brinda soluciones confortables, sino también gracias a sus propiedades de compresión genera soluciones estructurales.
- El residuo de fibras vegetales de cebada equivalente a 563,80 ha. anuales, quemadas en grandes cantidades, ahora tienen un uso significativo en la construcción de viviendas sostenibles, la alta producción de estas fibras en zonas rurales del cantón Colta ha permitido generar una reutilización de las mismas con una aplicabilidad polifuncional, ya que no solo disminuye los residuos agrícolas, sino que también ayuda a crear edificaciones eficientes y sostenibles potencialmente viables para su construcción en zonas andinas locales.
- El estudio y análisis de diferentes autores, ha permitido fortalecer la propuesta de este proyecto de investigación, en los cuales se pudo determinar las propiedades técnicas y estructurales con las que trabaja el modulo prefabricado, con una densidad de 110 kg/m³, resistencia estructural de 1.000 kg/m², resistencia al fuego de hasta 120 minutos y una conductividad térmica de 0,045 W/m^{°K}, menor a 0,085 W/m^{°K} como lo establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC 11, capítulo 13, eficiencia energética.
- El diseño de la propuesta ha permitido generar una planificación previa mediante etapas y metodologías para determinar el uso y funcionamiento correcto del módulo prefabricado. La guía técnica ha permitido mejorar el rendimiento de materiales como el uso de madera, fardos y tornillería, para corregir errores previos a la construcción, generando un mejor resultando.
- La construcción de este módulo prefabricado de fibras de cebada del cantón Colta representa un progreso significativo hacia la construcción sostenible gracias al uso eficiente de recursos naturales locales. Este proyecto muestra que las 563,80 ha. anuales de desechos de paja de cebada, pueden ser convertidos en soluciones constructivas seguras y confortables aplicables no solo a nivel local sino también en toda la zona andina. Esta alternativa de construcción sostenible contribuye a la reducción del impacto ambiental, encaminado a generar proyectos de bioconstrucción a gran escala.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda la ampliación de prefabricación de paneles ya que permite generar proyectos de construcción sostenibles, estructuralmente portantes y de rápido montaje, con un diseño modular que permitirá disminuir el tiempo y los costos de mano de obra, esto en comparación con métodos de construcción contemporánea.
- Se recomienda establecer la modulación de los paneles prefabricados de acuerdo con las dimensiones específicas de cada proyecto de construcción para minimizar el desperdicio de materiales, especialmente de madera, con el fin de optimizar los costos de los materiales. Al adaptar las dimensiones de los paneles conforme al tamaño requerido por el diseño arquitectónico y las necesidades estructurales, se reduce la cantidad de cortes y desperdicios durante la fabricación e instalación, mejorando así el ahorro económico del proyecto y las prácticas constructivas sostenibles al utilizar los recursos de manera más efectiva.
- Es necesario impulsar la realización de estudios y programas de capacitación enfocados en la construcción con paneles prefabricados o autoportantes utilizando fardos de paja de cebada, considerándolos como una alternativa viable para las zonas rurales del cantón Colta para mejorar las condiciones de habitabilidad de los habitantes de la zona facilitando la capacitación técnica local y el respaldo institucional para asegurar la implementación adecuada y el mantenimiento efectivo de estas tecnologías, garantizando así su durabilidad y eficacia en el entorno rural.
- La colaboración entre instituciones públicas y privadas es importante dentro de este tipo de proyectos, ya que permite respaldar la producción de módulos prefabricados destinados a proyectos de interés social en el cantón Colta, con el apoyo de asistencia técnica, dotación de recursos y desarrollo de alianzas estratégicas con empresas locales para impulsar la adopción de tecnologías sostenibles en la construcción y garantizar el acceso de comunidades vulnerables a viviendas dignas, eficientes y de bajo impacto ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Bautista, J., & Loaiza, N. (2017). *Características de la construcción sostenible y la construcción tradicional*. Bogotá.
- Borsani, M. (2011). *Materiales ecológicos: estrategias, alcances y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/13759>
- Carbon Smart Materials. (2018). *Arquitectura 2030*. Obtenido de <https://materialspalette.org/>
- Carvalho, D. (2015). *Construcción en países de la sierra andina*. Quito.
- Contreras, V., & Segura, R. (2017). *Algunas reflexiones sobre la arquitectura vernácula*. Ciudad de Mexico.
- Díaz, L. (2015). *Red argentina de construcción con fardos de paja*. Buenos Aires.
- Ecopaja. (2017). *Bioconstrucción modular ecoeficiente*. Obtenido de <https://ecopaja.com/>
- García, I., & Vangsbo, P. (2023). *City Handbook for Carbon Neutral Buildings*. Obtenido de <https://carbonneutralcities.org/manual-for-a-greener-future/>
- García, J., & Perdomo, J. (2020). *Análisis en la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente. Análisis huella de carbono*. Quito.
- Glassford, J. (2006). *Fardos de paja*. Sidney.
- Gonzalez, B. (2020). *Bioclimática, la construcción de un hábitat saludable*. Madrid.
- Guerreo, L. (2019). *Bioconstrucción a detalle: una experiencia compartida*. México.
- INAMHI. (2024). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Obtenido de <https://www.inamhi.gob.ec/>
- INIAP. (2024). *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*. Obtenido de <https://www.iniap.gob.ec/>
- King, B., & Beckett, M. (2011). *Straw Bale. Introduction to low impact building materials*. Reino Unido.
- MAGAP. (2024). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/>
- Manrique, N. (2004). *Proceso migratorio a las grandes ciudades*. Quito.
- Maraldi, M., Molari, L., & Molari, G. (2015). *Mechanical Characterization of Straw for use in Construction*. Bolonia.
- Martín, A. (2021). *Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón*. Valencia.
- Martínez, J. (2019). *Red argentina de construcción con fardos de paja*. Buenos Aires.

- McCabe, J. (1993). *The last straw*. Arizona.
- Minke, G., & Mahlke, F. (2006). *Manual de construccin con fardos de paja*. Montevideo.
- NEC. (2023). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Nitzkin, R. (2023). *Construcción con paja: relleno de entramados ligeros (montantes dobles y sencillos, técnica CUT)*. La Rioja.
- Okambuva.coop. (2024). *Bioconstrucción: Construcción sana y sostenible*. Obtenido de <https://www.okambuva.coop/>
- ONU. (2018). *Actua Ahora*. Nueva York.
- Osorno, D. (2011). *Hacia la bioconstrucción*. Santiago de Chile.
- PDOT-Colta. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Colta.
- Peña, B. (2016). *Panel prefabricado a base de fibras naturales*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25315>.
- Ponce, L., Garófolo, J., Velásquez, J., Noroña, C., & Jiménez, C. (2023). *Manual para la producción sostenible de cebada en la Sierra ecuatoriana*. Quito.
- Ramírez, A. (2018). *La construcción sostenible*. Bogota.
- Ruiz, A. (2020). *La construcción de un hábitat saludable*. Madrid.
- Serra, A. (2011). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es>
- Silvera, C., & Cadena, A. (2011). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla del arroz aglomerada con fibras vegetales.
- Silvestre, F. (2014). *Arquitectura bioclimática*. Barcelona.
- Swentzell, A., Steen, B., & Bainbridge, D. (1994). *Ecocosas, obtenido de la casa de fardos de paja*. Obtenido de https://ecocosas.com/wpcontent/uploads/Biblioteca/Arquitectura/LaCasaDePaja_Steen.
- Tillería, J. (2010). *La arquitectura sin arquitectos, reflexiones sobre arquitectura vernacula*.
- Viera, P., Aguirre, D., & Monzo, J. (2020). *Determinación de las características del fardo de paja de trigo, como desecho agroindustrial para su aprovechamiento como material de construcción*. Quito.
- Zuleta, J. (2011). *Desarrollo del diseño constructivo en la arquitectura*. Bogotá.

ANEXOS

1.1 Construcción del prototipo de bioconstrucción prefabricado.

El proceso de armado del panel requiere varios pasos detallados a continuación:

1.1.1 Preparación del Área de Trabajo

- Es necesario tener listos todos los materiales necesarios como los fardos de paja, los listones de madera, tornillería, y herramientas representados en las figuras 35 y 36.



Figura 35. Fardos de paja y listones de madera.

Fuente: (Sagñay, 2024)



Figura 36. Tornillería y herramientas.

Fuente: (Sagñay, 2024)

1.1.2 Construcción del marco de madera

- Para armar las escalerillas laterales, superior e inferior los listones de madera deben ser de acuerdo a las dimensiones especificadas del panel, además las platinas de acero en ángulo deberán ser de 2 mm de espesor en las cuatro esquinas para reforzar las conexiones representadas en las figuras 37 y 38.



Figura 37. Proceso de armado de escalerillas.

Fuente: (Sagñay, 2024)



Figura 38: Escalerillas armadas.

Fuente: (Sagñay, 2024)

- Para unir las escalerillas laterales con la superior, se debe usar tirafondos de 3” verificado que las conexiones sean firmes y alineadas representadas en las figuras 39 y 40.



Figura 39: Unión de escalerillas laterales con superior.

Fuente: (Sagñay, 2024)



Figura 40: Platinas y pernos en uniones de escalerillas.

Fuente: (Sagñay, 2024)

1.1.3 Inserción de los Fardos de Paja

- Colocar los fardos de paja de cebada en el armazón de madera, uno a uno, asegurándose de que estén bien comprimidos, representado en las figura 41.



Figura 41: Colocación de fardos de paja.

Fuente: (Sagñay, 2024)

- Utilizar la prensa requerida para comprimir los fardos, asegurando una densidad mínima de 110 kg/m², representado en la figura 42.



*Figura 42: Prensa manual de compresión.
Fuente: (Sagñay, 2024)*

1.1.4 Fijación de la Escalerilla Inferior

- Una vez que se llega a comprimir los fardos, se debe fijar la escalerilla inferior a las escalerillas laterales con platinas de acero de 2 mm. y pernos de 2" como la figura 43.



*Figura 43: Fijación de escalerilla inferior.
Fuente: (Sagñay, 2024)*

1.1.5 Afeitado y terminado

- Para este último punto es necesario utilizar podadoras, aunque también se lo puede realizar con tijeras de manera manual, se cortan las pajas que sobresalen del armazón

como lo representado en la figura 44, hasta llegar a conseguir una forma totalmente plana de los fardos, representado en la figura 45.



Figura 44. Podado manual de fardos.

Fuente: (Sagñay, 2024)



Figura 45: Fardos podados.

Fuente: (Sagñay, 2024)

- Finalmente, el producto está terminado de la figura 46, listo para el montaje en obra.



Figura 46: Prototipo terminado.

Fuente: (Sagñay, 2024)

El armado del módulo prefabricado es un método que exige atención a los detalles para garantizar la calidad del producto final. Siendo cada paso, importante para asegurar que los prefabricados cumplan con los parámetros estructurales y sostenible considerando la precisión del armazón de madera, la exacta compresión de los fardos y el uso adecuado de platinas y tirafondos para consolidar un panel seguro y confiable.

1.2 Aplicación de módulos prefabricados en caso de estudio

Estos módulos prefabricados permiten que esta construcción sostenible, simboliza una solución innovadora y eficaz. Para este, el caso de estudio establecido se propone demostrar la aplicación práctica de los módulos prefabricados en un proyecto específico. Los módulos prefabricados o también llamados alfaWALL, elaborados con paja prensada y estructurados en el armazón de madera, otorgan numerosas ventajas en términos de estructura, sostenibilidad y rapidez de construcción.

1.2.1 Proyecto arquitectónico con módulos prefabricados.

A partir del proyecto seleccionado de la vivienda unifamiliar que se utilizó como caso de estudio, representadas en las figuras 47, 48 y 49, en la cual se realizó el análisis previo, se establece una propuesta el objetivo de mantener su función arquitectónico, realizando una intervención mínima para generar espacios adecuados que respondan a las necesidades contemporáneas.

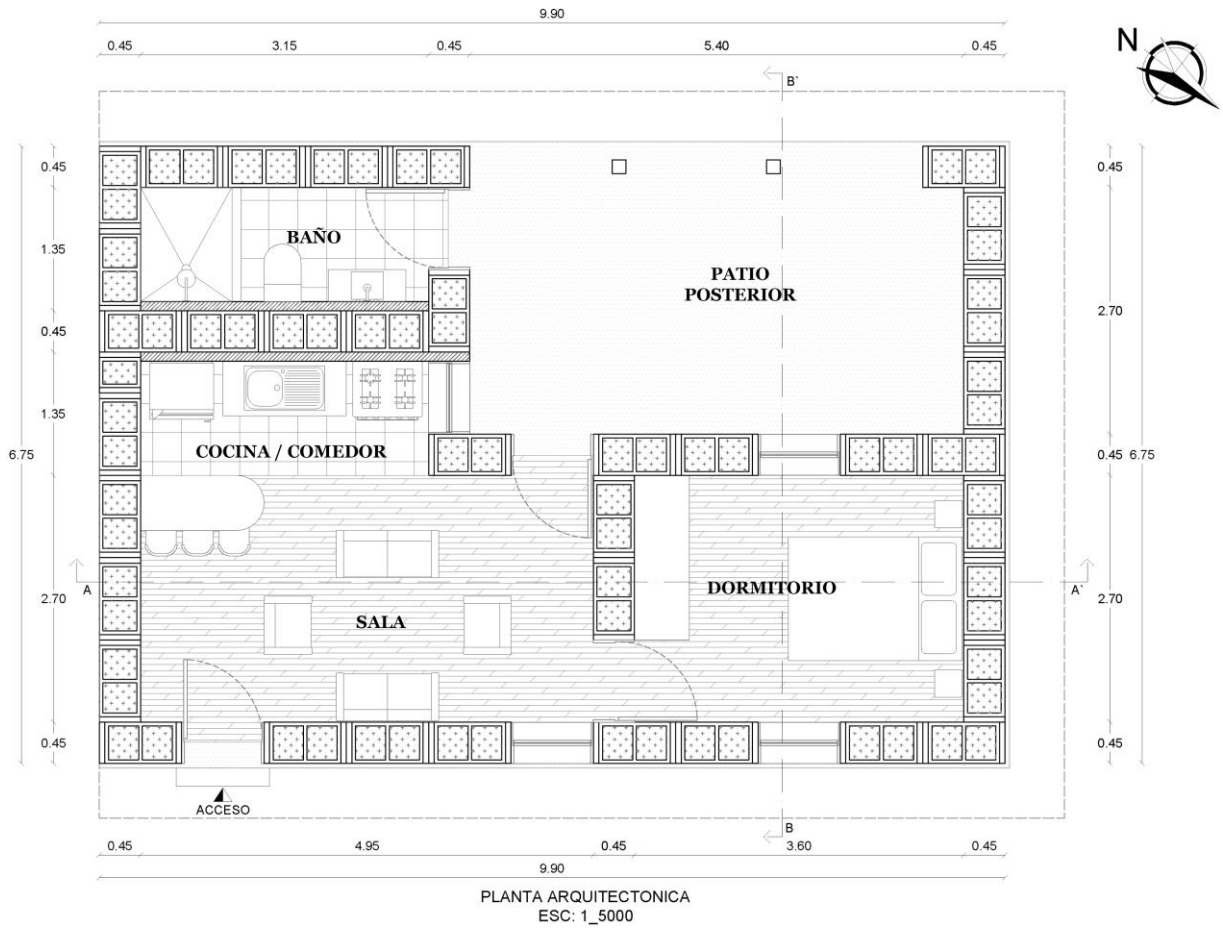
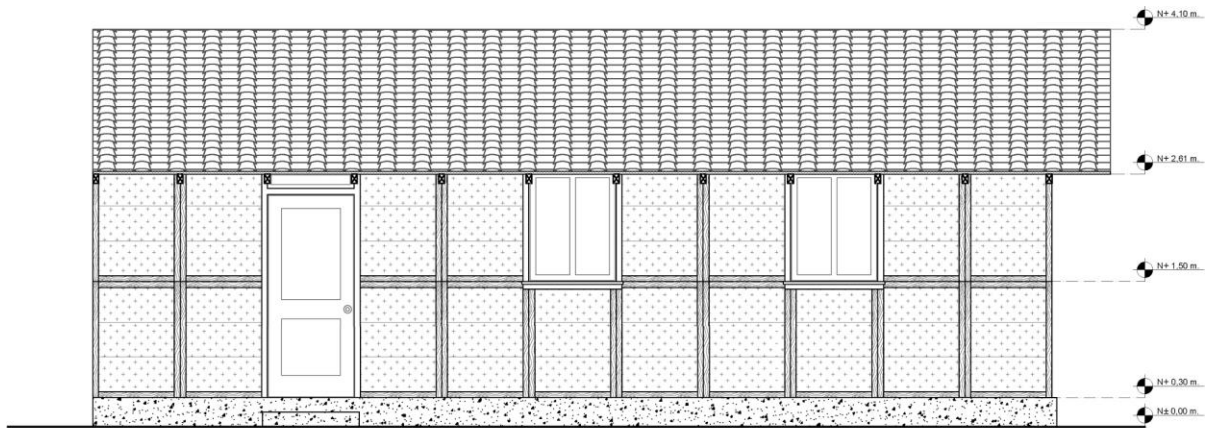
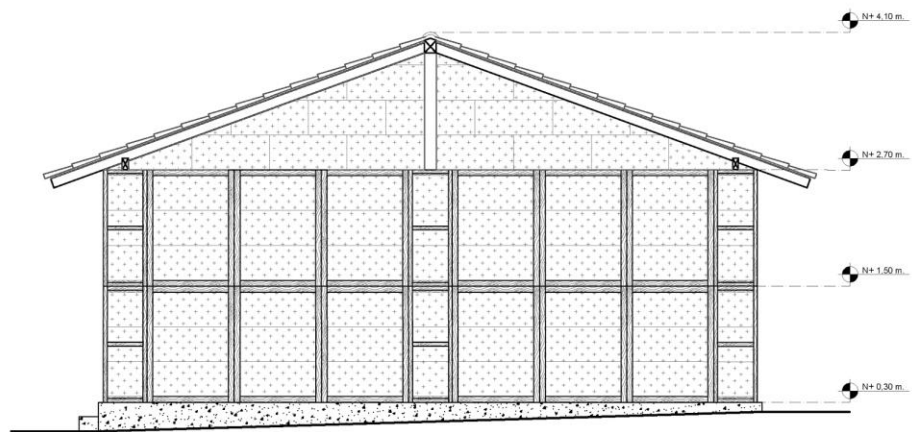


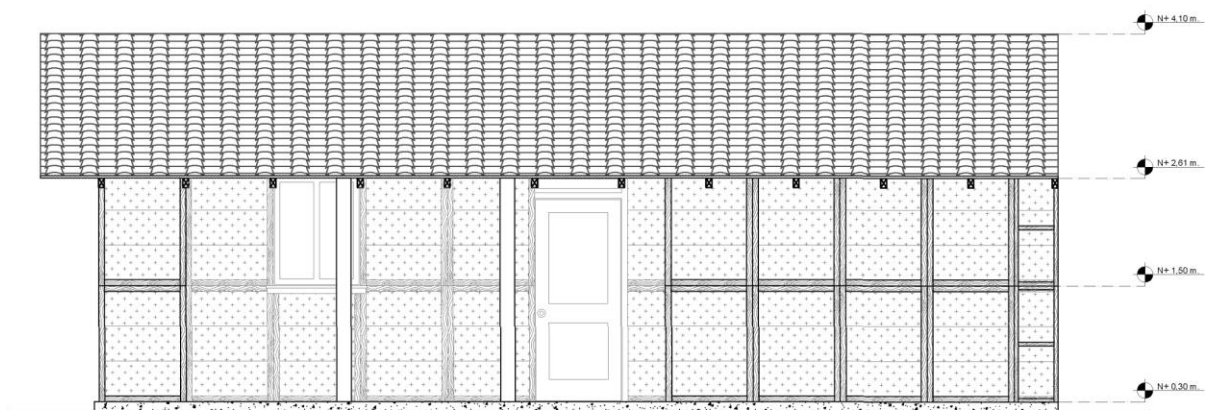
Figura 47: Módulos prefabricados aplicados en planta arquitectónica de caso de estudio.
Fuente: (Sagñay, 2024)



ELEVACIÓN FRONTAL
ESC: 1_5000



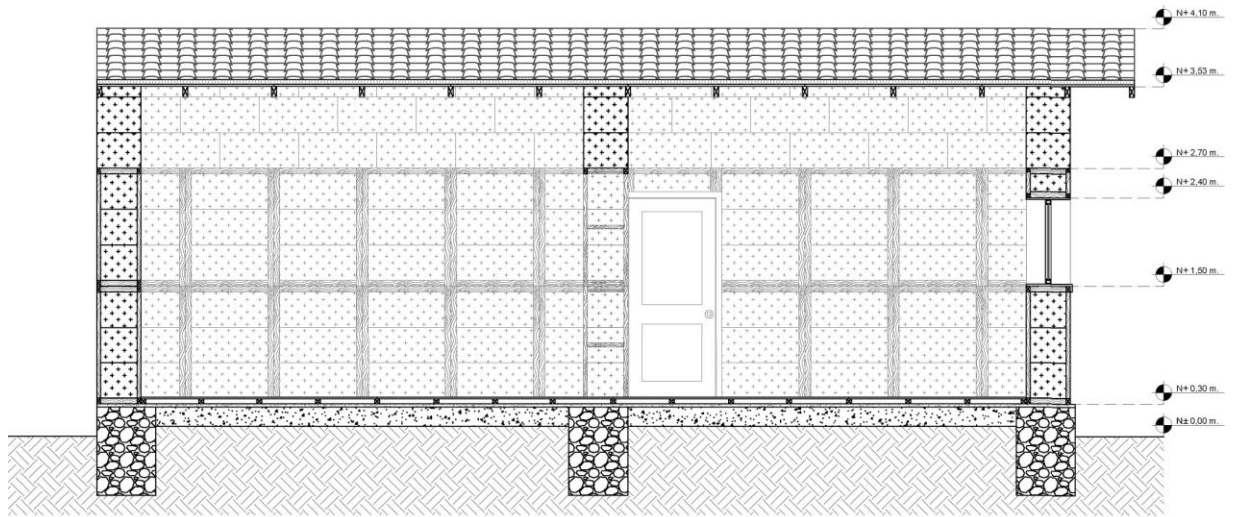
ELEVACIÓN LATERAL DERECHA
ESC: 1_5000



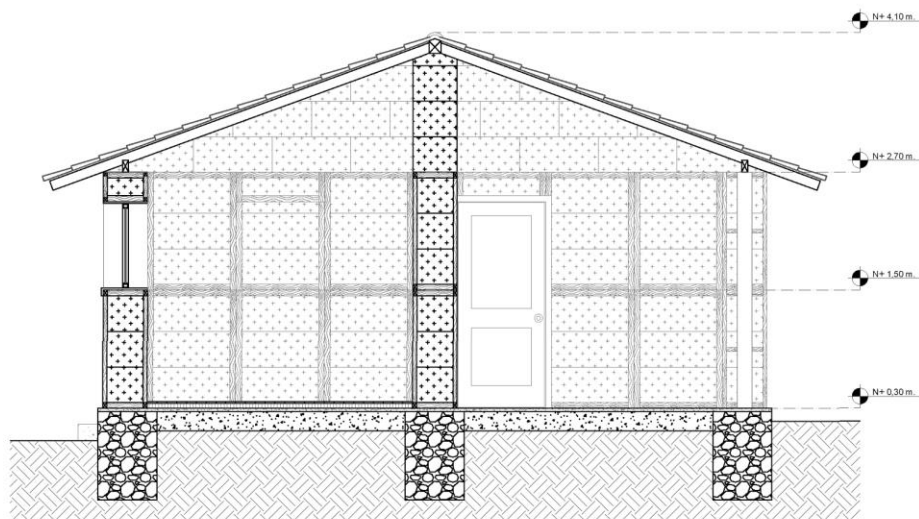
ELEVACIÓN POSTERIOR
ESC: 1_5000

Figura 48: Módulos prefabricados aplicados en elevaciones de caso de estudio.

Fuente: (Sagñay, 2024)



CORTE A - A'
ESC: 1_5000



CORTE B - B'
ESC: 1_5000

Figura 49. Secciones de módulos prefabricados aplicados en caso de estudio.

Fuente: (Sagñay, 2024)

La aplicación de estos módulos en el caso de estudio detallado con anterioridad, permite determinar el funcionamiento apropiado y adaptado a las nuevas necesidades contemporáneas, los cuales para un entendimiento complementario se genera visualizaciones dinámicas representadas en la figura 50 que pretenden simular propuestas reales.



VISTA FRONTAL



VISTA FRONTAL - LATERAL DERECHA



VISTA LATERAL DERECHA - POSTERIOR

Figura 50: Visualizaciones 3D de módulos prefabricados aplicados en caso de estudio.

Fuente: (Sagñay, 2024)

1.2.2 Rubros de precios unitarios por módulo prefabricado.

En este apartado están considerados los costos de fabricación del prefabricado que incluyen costos de materiales, fabricación y transporte, determinados en la tabla 11, 12 y 13.

Tabla 11. Rubro de precios unitarios por módulo prefabricado.

Rubro de precios unitarios por módulo prefabricado					
Materiales	Unidad	Cantidad individual requerida (a)	Cantidad total requerida (b)	Precio por unidad (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Paja de cebada	lb.	27	3	\$0,04	\$3,24
Madera de pino	tablón	-	3	\$3,00	\$9,00
Platinas de acero	und.	-	8	\$0,21	\$1,68
Tirafondos de 1" 1/4	und.	-	16	\$0,02	\$0,32
Tirafondos de 4" 1/4	und.	-	24	\$0,05	\$1,20
Equipos	Cantidad	Costo por minuto (a)	Tiempo individual requerido (b)	Cantidad piezas requeridas (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Enfardadora	1	\$0,26	3 min	3 (fardos)	\$2,34
Cepilladora de madera	1	\$0,02	2 min	3 (tablones)	\$0,12
Canteadora de madera	1	\$0,02	2 min	3 (tablones)	\$0,12
Ingletadora	1	\$0,01	1 min	20 (piezas)	\$0,20
Mano de obra	Cantidad (a)		Costo por minuto (b)	Tiempo de trabajo requerido (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Personal enfardadora	1		\$0,05	9 min	\$0,45
Personal carpintería	1		\$0,03	35 min	\$1,05
Personal ensamblaje	2		\$0,05	90 min	\$9,00
Precio total					\$28,70

Fuente: (Sagñay, 2024)

Tabla 12. Rubro de instalación por módulo prefabricado.

Rubro de instalación por módulo prefabricado				
Materiales	Unidad	Cantidad requerida (a)	Precio por unidad (b)	Precio subtotal (a*b)
Pernos de anclaje de 5" 1/4	und.	4	\$0,08	\$0,32
Tirafondos de 4" 1/4	und.	4	\$0,05	\$0,20
Equipos	Cantidad (a)	Costo por minuto (b)	Tiempo requerido (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Taladro inalámbrico percutor/atornillador de 1/2"	1	\$0,02	8 min	\$0,16
Grúa manual contrapesada de 200kg.	1	\$0,03	4 min	\$0,12
Mano de obra	Cantidad (a)	Costo por minuto (b)	Tiempo de trabajo requerido (c)	Precio subtotal (a*b*c)
personal	2	\$0,05	15 min	\$1,50
Precio total				\$2,30

Fuente: (Sagñay, 2024)

Tabla 13. Rubro de transporte por módulo prefabricado.

Rubro de transporte por módulo prefabricado.				
Transporte	Cantidad vehículos (a)	Distancia en km. (b)	Precio por km. (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Camión mediano de carga pesada con capacidad hasta 90 módulos.	1	1	\$1,24	\$1,24
Precio total				\$1,24

Fuente: (Sagñay, 2024)

El costo final de construcción con módulos prefabricados de 1,20 x 0,90 x 0,45 es \$32,24 con un área de 1,08 m² de muro autoportante equivalente a \$29,88 cada m².

1.2.3 Presupuesto de construcción con módulos prefabricados.

Una inversión competitiva permite enfrentar los métodos tradicionales contemporáneos y proporcionar una solución viable para consolidar proyectos arquitectónicos modernos, este presupuesto de construcción establecido está basado en nuestro caso de estudio específico, el cual incluirá la cimentación, estructura y mampostería, representados en la tablas 14, considerando que esta propuesta cumple con características autoportantes.

Tabla 14. Presupuesto de construcción con módulos prefabricados.

Presupuesto de construcción con prefabricados de paja por m2				
Obra	Caso de estudio Colta			
Área	66,83 m2			
Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Cimentación				
Hormigón ciclópeo (50% h.s. $f^c=180$ kg/cm ² + 50% piedra bola). dimensión 0,90 x 0,60 x 49,95 m.	m3	26,97	\$95,00	\$2.562,15
relleno de tierra compactada	m3	41,14	\$27,14	\$1.116,54
contrapiso de hormigón simple f^c 210kg/cm ² . espesor 2,5cm.	m2	66,83	\$18,50	\$1.236,36
Mampostería portante				
módulos prefabricados de paja de cebada	m2	112,51	\$29,88	\$3.361,80
Precio total				\$8.276,84

Fuente: (Sagñay, 2024)

1.3 Aplicación de fardos de paja (técnica Nebraska) en caso de estudio.

La implementación de la técnica Nebraska en el caso de estudio tiene como fin realizar una comparación detallada con la propuesta de paneles prefabricados. Este análisis busca ofrecer alternativas de construcción viables y eficientes para elegir la mejor solución en proyectos de construcción reales.

La técnica Nebraska es un método tradicional de construcción con fardos de paja, que se apilan y utilizan como elementos estructurales sin necesidad de un marco de soporte adicional. Este enfoque se ha empleado durante décadas en diversas regiones debido a su simplicidad y al uso de materiales locales y sostenibles. Los fardos de paja se comprimen y estabilizan mediante estacas, asegurando un montaje equilibrado y ordenado.

Comparar la técnica Nebraska con los paneles prefabricados o alfaWALL en el caso de estudio permite evaluar las ventajas y desventajas de cada método. La técnica Nebraska, por su simplicidad y empleo de materiales locales, es una opción viable para proyectos donde la sostenibilidad y los bajos costos iniciales son prioritarios. La adaptabilidad de este método permite su aplicación en diversas regiones y condiciones climáticas, haciendo posible su uso en el cantón Colta para abordar las necesidades de viviendas de interés social. La propuesta no solo busca posibilitar la construcción de nuevas edificaciones, sino también intervenir efectivamente en la resolución de problemas relacionados con muros y mampostería en viviendas que enfrentan mayores desafíos estructurales.

El análisis de ambas opciones en el caso de estudio es esencial para que se tomen decisiones basadas en las necesidades específicas del proyecto. Contar con más de una opción viable asegura la selección de la solución más adecuada para cada situación, optimizando los recursos naturales y garantizando la seguridad y eficiencia del proyecto final.

1.3.1 Proyecto arquitectónico con fardos de paja.

En este proyecto se propone la implementación de un sistema constructivo autoportante, conocido como el sistema o técnica Nebraska, representado en las figuras 51 y 52. El funcionamiento de este sistema tiene como objetivo establecer un método de apilamiento trabado de bloques fabricados con fibras de cebada, asegurando que cumplan con medidas y propiedades estandarizadas. Además, se refuerzan con listones de madera para facilitar la distribución de cargas, eliminando la necesidad de una estructura independiente.

El uso y aplicación de estos bloques compactados, son fabricados con fibras de cebada que presenta varias ventajas. En primer lugar, estos materiales son abundantes y renovables, lo que reduce la dependencia de recursos no sostenibles y disminuye el impacto ambiental de la construcción. Además, la paja de cebada tiene excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico, contribuyendo a la eficiencia energética de las viviendas y mejorando el confort de sus habitantes. La paja al ser un material ligero, facilita el transporte y la manipulación en el sitio de construcción, lo que puede reducir los costos y tiempos asociados con el proceso constructivo representado en la figura 53.

Durante la fase de construcción, los bloques de fibras de cebada se apilan cuidadosamente, siguiendo un diseño preestablecido que maximiza la estabilidad y resistencia de la estructura. Las estacas o listones de madera se insertan en puntos estratégicos de manera trabada, esta técnica es utilizada para distribuir uniformemente las cargas y prevenir el desplazamiento de los bloques, asegurando así la integridad de la construcción. Este método no solo proporciona una

solución estructural robusta, sino que también permite adaptaciones y reparaciones sencillas, lo que es crucial para el mantenimiento a largo plazo de las viviendas.

La aplicación de este sistema constructivo autoportante tiene el potencial de transformar significativamente el panorama de la vivienda en el cantón Colta. Al proporcionar una solución de construcción que es tanto económica como ambientalmente responsable, se pueden abordar de manera efectiva las necesidades de las comunidades locales. Además, en el uso de materiales locales y la capacitación de la mano de obra local promueve la autosuficiencia y el desarrollo sostenible, creando un impacto positivo duradero en la región.

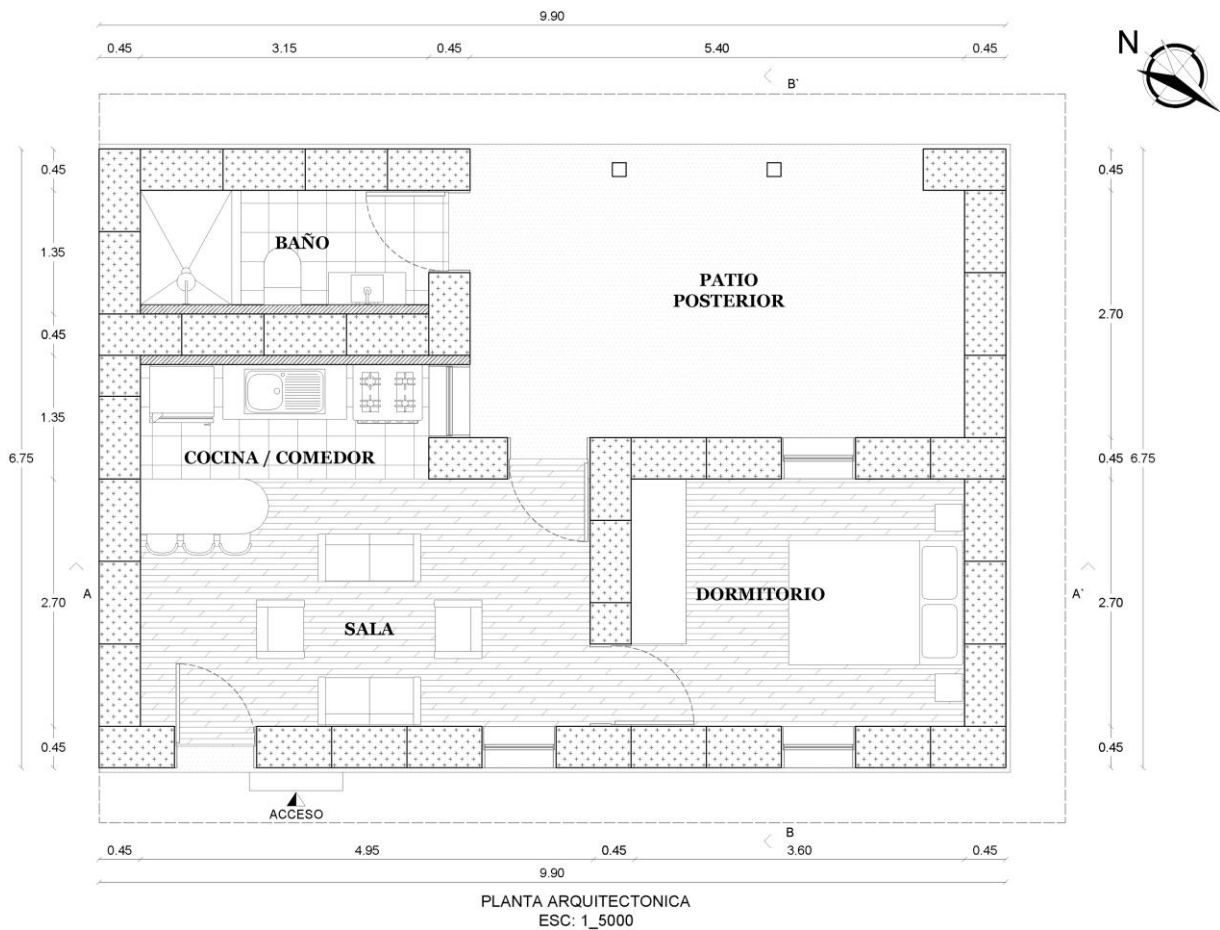
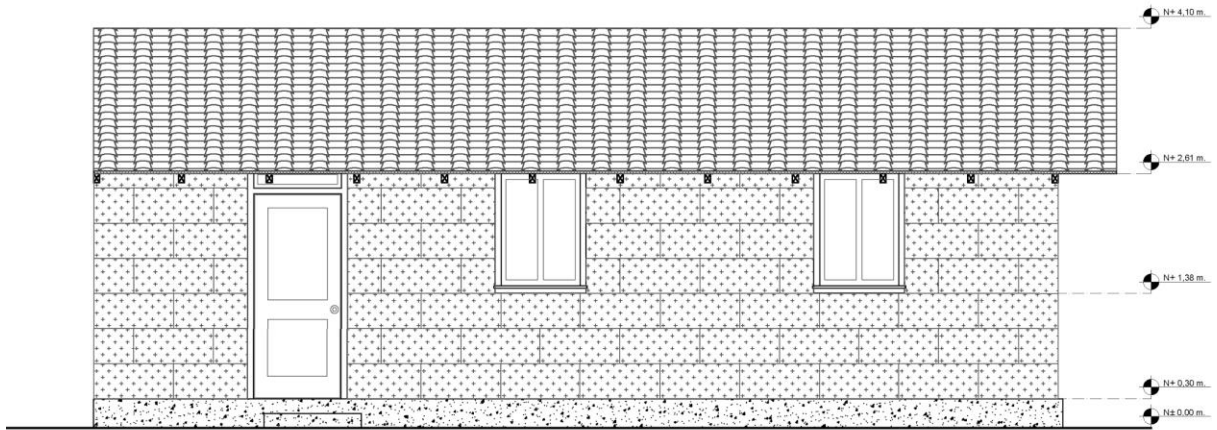
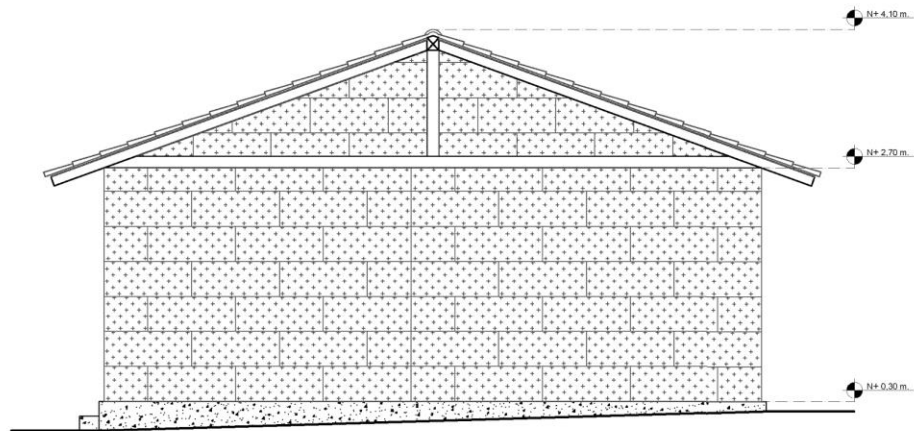


Figura 51: Fardos de paja aplicados en planta arquitectónica de caso de estudio.

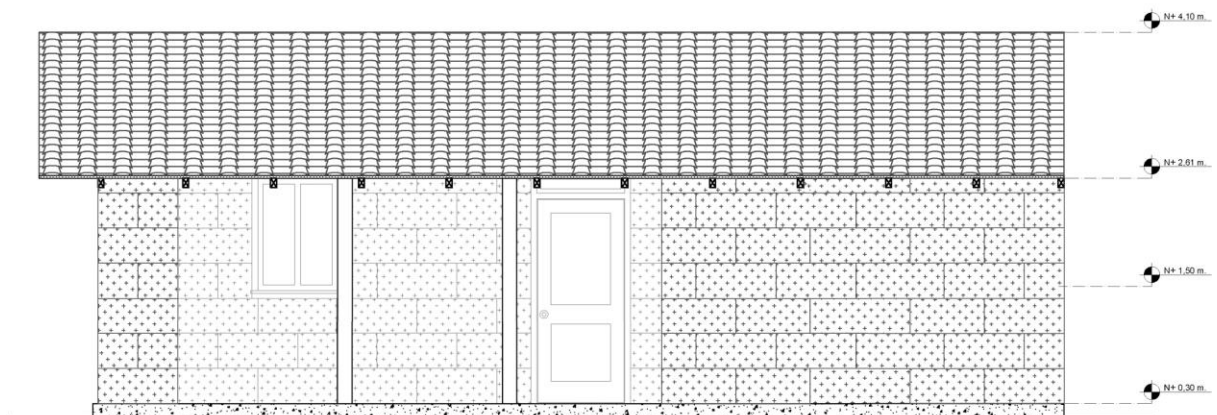
Fuente: (Sagñay, 2024)



ELEVACIÓN FRONTAL
ESC: 1_5000



ELEVACIÓN LATERAL DERECHA
ESC: 1_5000



ELEVACIÓN FRONTAL
ESC: 1_5000

Figura 52: Fardos de paja aplicados en elevaciones de caso de estudio.

Fuente: (Sagñay, 2024)

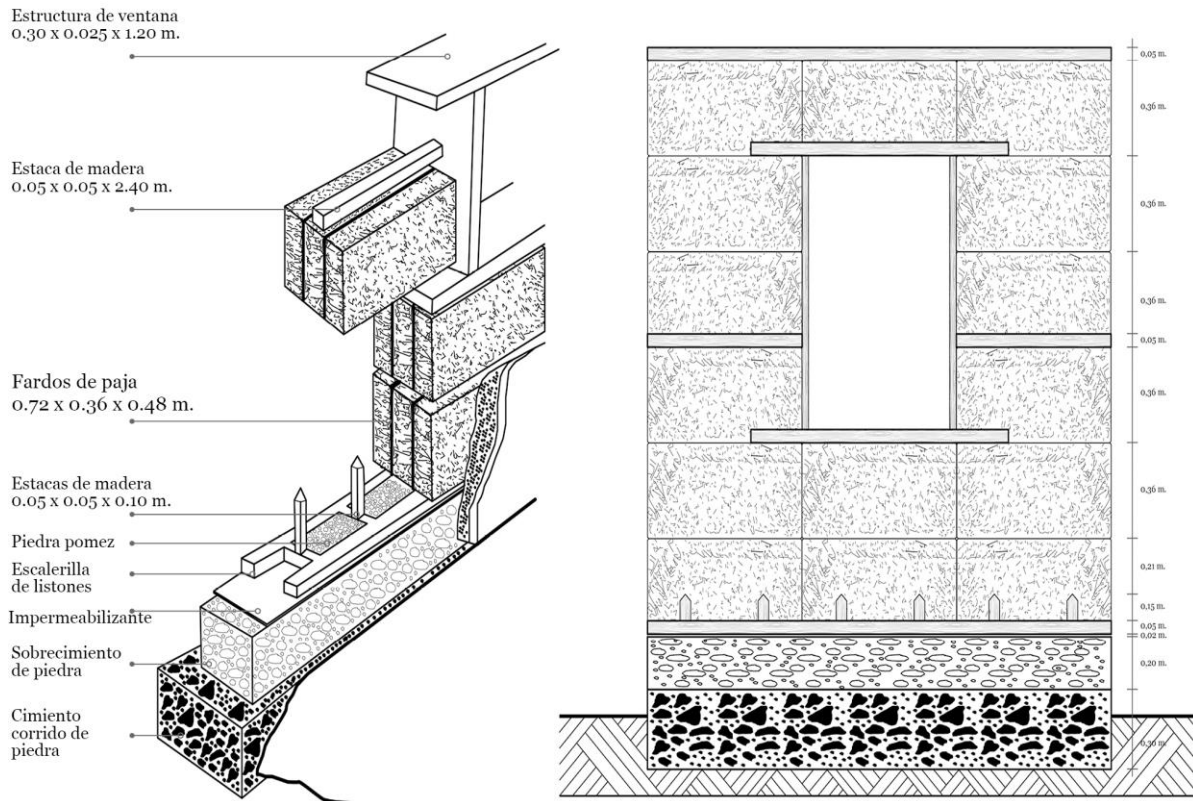


Figura 53: Detalles de fardos paja aplicados en caso de estudio.

Fuente: (Sañay, 2024)

El sistema constructivo autoportante o técnica Nebraska permite que el montaje de los fardos de paja sea equilibrado, ordenado y estabilizado mediante estacas que proporcionan mayor solidez a la estructura.

- a) **Altura Máxima:** La altura máxima que soportan los fardos de paja es de hasta 2,80 m. aunque si el diseño requiere una altura mayor, es necesario incorporar una viga perimetral superior de madera para continuar hasta la altura establecida.
- b) **Distancia Máxima:** aunque la distancia máxima para un muro de fardos de paja es de 6 m. si se requiere una longitud mayor, es necesario establecer un estabilizador que permita al muro alcanzar la distancia requerida en el diseño.
- c) **Recubrimiento:** Para esta técnica el recubrimiento de los fardos es necesario, este se compone de paja triturada, arcilla y barro que en su primera capa no necesariamente debe tener una superficie plana ya que su objetivo principal es proteger los fardos de los agentes externos, sin embargo, la segunda capa debe ser totalmente plana.

1.3.2 Rubros de precios unitarios por fardo de paja.

En este apartado están considerados los costos de los fardos de paja que incluyen costos de materiales, fabricación y transporte, establecidos en las tablas 15, 16 y 17.

Tabla 15. Rubro de precios unitarios por fardo de paja.

Rubro de precios unitarios por fardo de paja					
Materiales	Unidad	Cantidad individual requerida (a)	Cantidad total requerida (b)	Precio por unidad (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Paja de cebada	lb.	27	1	\$0,04	\$1,08
Equipos	Cantidad	Costo por minuto (a)	Tiempo individual requerido (b)	Cantidad piezas requeridas (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Enfardadora	1	\$0,26	3 min	1 (fardo)	\$0,78
Mano de obra	Cantidad (a)		Costo por minuto (b)	Tiempo de trabajo requerido (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Personal enfardadora	1		\$0,05	3 min	\$0,15
Precio total					\$2,00

Fuente: (Sagñay, 2024)

Tabla 16. Rubro de instalación por fardo de paja.

Rubro de instalación por fardo de paja				
Materiales	Unidad	Cantidad requerida (a)	Precio por unidad (b)	Precio subtotal (a*b)
Correas con gancho de presión de 2" 15'	u.	2	\$0,03	\$0,06
Aguja de corte fardo	u.	2	\$0,01	\$0,02
Piola de construcción	m	1	\$0,01	\$0,01

Mano de obra	Cantidad (a)	Costo por minuto (b)	Tiempo de trabajo requerido (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Personal	2	\$0,05	2 min	\$0,20
Precio total				\$0,29

Fuente: (Sagñay, 2024)

Tabla 17. Rubro de transporte de fardos de paja

Rubro de transporte de fardos de paja				
Transporte	Cantidad vehículos (a)	Distancia en km. (b)	Precio por km. (c)	Precio subtotal (a*b*c)
Camión pequeño de carga pesada con capacidad hasta 170 fardos	1	1	\$0,84	\$0,84
Precio total				\$0,84

Fuente: (Sagñay, 2024)

El costo final de construcción con fardos de paja de 0,78 x 0,48 x 0,38 m. es \$10,62 cada m² de muro autoportante considerando que se necesitan 3,38 fardos para cada m² con un costo de \$3,14 cada fardo.

1.3.3 Presupuesto de construcción con fardos de paja.

Para alcanzar una inversión competitiva frente a los métodos tradicionales y proporcionar una solución viable y adaptable a proyectos de construcción modernos, se establece un presupuesto de construcción basado en nuestro caso de estudio específico. Este presupuesto incluirá cimentación, estructura y mampostería, representados en la tabla 18, considerando que los fardos tienen propiedades autoportantes.

Tabla 18. Presupuesto de construcción con fardos de paja.

Presupuesto de construcción con fardos de paja por m²	
Obra	Caso de estudio Colta
Área	66,83 m ²

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Cimentación				
Hormigón ciclópeo (50% h.s. $f'c=180$ kg/cm ² + 50% piedra bola). dimensión 0,90 x 0,60 x 49,95 m.	m3	26,97	\$95,00	\$2.562,15
Relleno de tierra compactada	m3	41,14	\$27,14	\$1.116,54
Contrapiso de hormigón simple $f'c$ 210kg/cm ² . espesor 2,5cm.	m2	66,83	\$18,50	\$1.236,36
Mampostería portante				
Fardos de paja de cebada	m2	112,51	\$10,22	\$1.149,85
Estructura				
Viga solera de madera de eucalipto de 0,15 x 0,15 x 3,00 m.	u.	12	14	\$168,00
Precio total				\$6.232,90

Fuente: (Sagñay, 2024)

1.4 Análisis comparativo de presupuestos de sistemas prefabricado, portante y contemporáneo.

Es indispensable establecer un presupuesto para la construcción contemporánea en comparación con la propuesta prefabricada y el uso de fardos de paja. El propósito es encontrar una solución económica y socialmente viable, basada en nuestro caso de estudio específico. Este presupuesto representado en la tabla 19, abarcará la cimentación, estructura y mampostería ya que son aspectos analizados en los anteriores sistemas constructivos.

Tabla 19. Presupuestos de construcción con mampostería tradicional.

Presupuesto de construcción con mampostería de ladrillo por m2	
Obra	Caso de estudio Colta
Área	66,83 m2

Rubro	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Cimentación				
H. simple en replantillo $f'c=140$ kg/cm ² espesor= 0.10 m	m ³	0,75	\$121,87	\$91,40
Acero de refuerzo en barras $f_y=4200$ kg/cm ²	kg	127,92	\$2,10	\$268,63
H. simple en plintos $f'c=210$ kg/cm ²	m ³	2,25	\$155,00	\$348,75
H. simple en cadenas $f'c=210$ kg/cm ² incluye encofrado	m ³	1,4	\$165,00	\$231,00
Contrapiso de hormigón simple $f'c$ 210kg/cm ²	m ²	66,83	\$18,50	\$1.236,36
Mampostería				
Ladrillo de 15 cm.	m ²	112,51	\$14,26	\$1.604,39
Aislante térmico y acústico instalado. lana de vidrio	m ³	112,51	\$9,59	\$1.078,97
Estructura				
Acero de refuerzo en barras $f_y=4200$ kg/cm ²	kg	270,56	\$2,10	\$568,18
Precio total				\$5.427,68

Fuente: (Sagñay, 2024)

Los estudios e investigaciones realizadas con anterioridad en los apartados establecidos tanto en la técnica Nebraska como en los módulos prefabricados, se pudo evidenciar que para el caso de estudio seleccionado como objeto de intervención, se obtuvo resultados concretos, en los cuales observa una diferencia de presupuestos. Así, la producción de los prefabricados contiene un costo más elevado en comparación con la técnica Nebraska o la mampostería de ladrillo tradicional, debido a factores como los procesos de fabricación tecnificados, haciendo que estos módulos contengan niveles elevados de seguridad y confort, lo que requiere de una intervención de infraestructura, maquinaria y materiales adicionales para su funcionamiento óptimo. Por lo tanto, estos estudios e investigaciones nos permiten llegar a determinar conclusiones en el siguiente apartado.