



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Colima
División de Estudios de Posgrado e Investigación

SISTEMA CONSTRUCTIVO MIXTO DE TAPIA Y BAMBÚ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA RURAL EN ZONAS VULNERABLES DE COLIMA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA

PRESENTA:

ARQ. DOMINGA ZULEICA CHÁVEZ PÉREZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ARQ. JOSÉ RICARDO MORENO PEÑA

CO-DIRECTOR:

MTRO. ARQ. JOSÉ FIDEL NAVARRO ARELLANO

VILLA DE ÁLVAREZ, COLIMA. AGOSTO 2022.



OFICIO DE IMPRESIÓN



Instituto Tecnológico de Colima
 División de Estudios de Posgrado e Investigación
 Villa de Álvarez, Colima, **16/Agosto/2022**
 Oficio No. DEPI 1.2.1.1/149/2022

CHÁVEZ PÉREZ DOMINGA ZULEICA
PASANTE DE LA MAestrÍA EN ARQUITECTURA
SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA
PRESENTE

La División de Estudios de Posgrado e Investigación de acuerdo al procedimiento para la obtención del Título de Maestría de los Institutos Tecnológicos y habiendo cumplido todas las indicaciones que la comisión revisora hizo a su trabajo profesional:

“SISTEMA CONSTRUCTIVO MIXTO DE TAPIA Y BAMBÚ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA RURAL EN ZONAS VULNERABLES DE COLIMA”

Por la opción de tesis, que para obtener el grado de **MAESTRA EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA** será presentada por Usted, tiene a bien concederle la **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN** de la tesis citada.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial y afectuoso saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

PETER CHUNG ALONSO
JEFÉ DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN



Ccp. Archivo

PCA/cas*



Av. Tecnológico #1, C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, Tel. 312 3129920 Ext: 113 y 213
 Correo electrónico: posgrado@colima.tecnm.mx www.colima.tecnm.mx



PRÓLOGO

La investigación sobre la construcción con tierra, específicamente con tapia, es uno de los sistemas constructivos pocos experimentados dentro del país, por ende, en el estado de Colima no se tiene registro sobre edificaciones donde se utilice este sistema, sin embargo, es una respuesta a las problemáticas de vivienda digna, a bajo costo y ecológica en comunidades vulnerables, además es un sistema que puede ser mejorado con otros elementos, en este caso el bambú que fue como una estructura, y las fibras naturales coco y la cal para estabilizar su composición, abriendo las puertas a nuevas invitaciones y futura aplicación.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es dedicado a la memoria de mi madre **Emma Pérez Sánchez**, que partió del plano terrenal cuando iniciaba esta nueva etapa en mi formación académica, por su apoyo incondicional los años que Dios me permitió compartir con ella, que a pesar de las dificultades nunca se rindió mi gran guerrera de vida, la cual me dio la oportunidad de superarme y ser una mujer profesionalista, gracias por cada uno de tus consejos, momentos buenos, risas y sueños cumplidos, no te veo físicamente, pero sé que estás conmigo en cada momento importante, este nuevo logro se suma a los que aún faltan, siento tu abrazo y lágrimas de alegría, eres mi gran ángel guardián .

Mujer ejemplar, ¿dónde se hallará? ¡Es más valiosa que las piedras preciosas-Proverbios 31:10-

Agradezco infinitamente a Dios, por permitirme concluir una de las etapas más importantes hasta ahora en mi vida, en él encontré, paz, alegría y motivación en los momentos difíciles. Agradezco a mi hermana **Yessica Paola**, que me dio uno de los regalos más bellos, mi **sobrina Emma Eliette**, una hermosa niña que llegó en el momento indicado, cuando aún estábamos pasando por el proceso más doloroso de nuestras vidas, un pequeño angelito que ha llenado mi vida de alegría y felicidad, que me enseñó las ganas de vivir y salir adelante, tan pequeña y librando grandes batallas, gracias por su apoyo incondicional.

A mis tíos, **Gerardo, Lucas y Magdaleno**, hermanos de mi madre que siempre me han apoyado, y nunca me dejaron sola en ninguna de las etapas por las cuales he pasado, gracias infinitas, porque nunca he escuchado algo negativo de su parte.

A mi director de tesis el doctor **José Ricardo Moreno Peña**, por sus enseñanzas paciencia, dedicación, tiempo y esfuerzo para llevar a cabo este proyecto de crecimiento personal y profesional tan importante en mi vida. A todos mis docentes, en especial los maestros **Peter**

Chung y **Fidel Navarro**, quienes me apoyaron, aconsejaron y escucharon durante la etapa de duelo por la dolorosa partida de mi madre.

A mis amigos y compañeros de la maestría con los cuales he compartido muchos momentos inigualables, durante este proceso de formación hice grandes amistades, gracias por sus consejos, motivación y sobre todo por escucharme cuando más lo he necesitado, así como a mis amigas de la infancia y adolescencia, que siempre han estado conmigo en los malos y buenos momentos.

Agradecer a las personas que me fui encontrado durante este proceso de mi vida, en especial a **María del Carmen, Mía**, el pequeño **Antonio** y **familia**, pese a las circunstancias, se han convertido en una parte muy importante en mi vida, gracias por la motivación y el apoyo que he encontrado en ustedes.

También agradezco a las personas de servicio social quienes colaboraron en la etapa de construcción de los módulos experimentales y a los participantes en los talleres impartidos como parte de la etapa de retribución social. A **mi pareja** a quien conocí en la etapa final de este trabajo y desde entonces me ha apoyado incondicionalmente.

Finalmente agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quien me apoyo económicamente para llevar a cabo mi formación como Maestra en Arquitectura Sustentable y Gestión Urbana, y al instituto Tecnológico Nacional de México, campus Colima, quien me dio la oportunidad de regresar para cursar un grado más dentro de mi formación académica.

RESUMEN

La presente investigación se analiza la implementación de un sistema constructivo utilizando la tierra como principal material constructivo, con el objetivo de diseñar un sistema mixto de tapia y bambú como elemento constructivo para analizar y entender su comportamiento térmico y estructural para construcción de vivienda rural en el estado de Colima.

Partiendo de las problemáticas de viviendas rurales identificadas en el estado, de esta manera se diseñó un módulo experimental de tres muros de tierra utilizando las mezclas propuestas por Magaña (2022) en su investigación, el muro “A” compuesto en su totalidad por tierra compactada, el muro “B” de 80% tierra y 20% de cal y finalmente, el muro “C” de 60% tierra, 32% fibra de cal y 8% fibra de coco, además de agregar refuerzos estructurales de bambú guadua al interior de los mismos, con la finalidad de analizar teóricamente su comportamiento térmico, físico ambiental , estructural y económico.

Dentro de proceso de la investigación se diseñó y fabrico una cimbra o tapial para la construcción de los muros como una herramienta innovadora. Se caracterizaron los materiales, principalmente la tierra existente en las dos zonas en las que se divide el estado para conocer sus propiedades mediante pruebas de campo y determinar factibilidad como material constructivo, finalmente se realizó la propuesta de vivienda modular con este sistema la cual puede ser aplicada en la autoconstrucción con este sistema.

En los resultados obtenidos varían de acuerdo a la composición de cada muro, sin embargo, se puede determinar que estéticamente los muros de tierra pueden sufrir agrietamientos y desprendimientos del material debido a los factores como la humedad, compactación y la cimbra utilizada. En cuanto al comportamiento térmico, al ser muros reducen la conductividad del calor, la energía tarda más en llegar de un extremo al otro.

El comportamiento físico se dividió en dos; acústico y resistencia al fuego, en el primero es un buen aislante acústico ya que se reduce el ruido proveniente del exterior, en el segundo,

su resistencia es muy alta, convirtiéndolo en un material que no se consume, incluso con la presencia de fibra naturales. Además, la resistencia a la compresión de un muro totalmente de tierra es similar a la de uno de concreto. Las emisiones de CO₂, son mínimas en comparación al resto de los materiales constructivos, finalmente se reducen considerablemente los costos de construcción, ya que el material que utiliza se puede encontrar en el sitio.

Palabras clave: Tapial, tierra, fibra de coco, cal, tapial.

ABSTRACT

The present investigation analyzes the implementation of a construction system using earth as the main construction material, with the aim of designing a mixed system of rammed earth and bamboo as a construction element to analyze and understand its thermal and structural behavior for the construction of rural housing in the Colima state.

Starting from the problems of rural housing identified in the state, in this way an experimental module of three earth walls was designed using the mixtures proposed by Magaña (2022) in his research, wall "A" composed entirely of compacted earth, wall "B" of 80% earth and 20% lime and finally, wall "C" of 60% earth, 32% lime fiber and 8% coconut fiber, in addition to adding structural reinforcements of guadua bamboo to the interior of them, in order to theoretically analyze their thermal, physical, environmental, structural and economic behavior.

Within the research process, a formwork or rammed earth was designed and manufactured for the construction of the walls as an innovative tool. The materials were characterized, mainly the existing land in the two zones in which the state is divided to know its properties through field tests and determine feasibility as a construction material, finally the modular housing proposal was made with this system which can be applied in self-construction with this system.

in the results obtained vary according to the composition of each wall, however, it can be determined that, aesthetically, the earthen walls can suffer cracking and detachment of the material due to factors such as humidity, compaction and the formwork used. In terms of thermal behavior, as they are walls, they reduce the conductivity of heat, the energy takes longer to get from one end to the other.

The physical behavior was divided into two; acoustic and fire resistance, in the first it is a good acoustic insulator since noise from outside is reduced, in the second, its resistance is very high, making it a material that is not consumed, even with the presence of natural fibers.

Furthermore, the compressive strength of an all-earth wall is similar to that of a concrete wall. The CO2 emissions are minimal compared to the rest of the construction materials, finally the construction costs are considerably reduced, since the material used can be found on the site.

Keywords: rammed earth, earth, coconut fiber, lime, tapial.

ÍNDICE GENERAL

1. GENERALIDADES	23
1.1 Planteamiento del Problema	23
1.2 Justificación del Tema de Investigación	24
1.3 Pregunta de Investigación.....	26
1.3.1 General	26
1.3.2 Específicas	26
1.4 Hipótesis	26
1.5 Objetivos.....	26
1.5.1. Objetivo General.....	26
1.5.2. Objetivos Particulares.....	26
1.6 Alcances y Limitaciones	27
2. ESTADO DEL ARTE	28
2.1 Documentos Existentes	28
2.1.1 Primeras Construcciones con Tierra.....	28
2.1.2 Beneficios y Desventajas de la Construcción con Tierra.....	29
2.1.3 ¿Qué es la Tapia?	32
2.1.4 Tipos de Tapias	36
2.1.5 El Suelo (Tierra) como Materia Prima.....	37
2.1.6 Granulometría.....	39
2.1.7 Estado Actual de la Tapia	41
2.1.8 Ejemplos de Vivienda Social.....	44

2.1.9 El Origen del Bambú.....	53
2.1.10 Beneficios del Bambú.....	54
2.1.11 Morfología del Bambú.....	54
2.2 Normatividad.....	56
2.2.1 Norma Peruana E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada.....	56
2.2.2 Norma Técnica E.100 del Bambú.....	58
3. METODOLOGÍA.....	60
3.1 Enfoque y Tipo de Estudio.....	60
3.2 Área del estudio.....	61
3.2.1 Suelo como Materia Prima.....	62
3.2.2 Bambú como Materia Prima.....	63
3.3 Población y Muestra.....	64
3.3.1 Población de Suelo y Bambú como Materia Prima.....	64
3.3.2 Muestra de los Materiales.....	66
3.4 Determinación de Variables.....	67
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	67
3.5.1 Caracterización del Suelo.....	67
3.5.2 Caracterización del Bambú.....	76
3.5.3 Diseño del Molde para Tapia.....	77
3.5.4 Herramientas para la Construcción de los Muros.....	82
3.5.5 Diseño del Sistema Constructivo de Tapia.....	83

3.5.6	Diseño de los Muros	85
3.6	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	87
3.6.1	Proceso de Construcción del Módulo Experimental de Tapia	87
3.6.2	Guía para la evaluación de los cambios físicos de los muros.....	98
3.6.3	Análisis teórico del comportamiento térmico de los muros.....	118
3.6.4	Análisis Teórico del Comportamiento Físico de los Muros	122
3.6.5	Análisis Teórico del Comportamiento Estructural de los Muros	135
3.7.6	Emisión de CO2	137
3.7.7	Factor de Reducción en los Costos y Tiempos de Edificación	139
3.7.8	Propuesta de Vivienda con el Sistema Mixto de Tapia y Bambú	143
4.	RESULTADOS OBTENIDOS	154
4.1	Resultados.....	154
4.1.1	Cambios Físicos de los Muros.....	154
4.1.2	Comportamiento Térmico de los Muros	156
4.1.3	Comportamiento Físico de los Muros	157
4.1.4	Comportamiento Estructural de los Muros	158
4.1.5	Comportamiento de la Emisión de CO ₂	158
4.1.6	Reducción en los Costos y Tiempos de Edificación.....	159
4.1.7	Propuesta de Vivienda.....	160
4.2	Análisis y Discusión de los Resultados	161
4.2.1	Cambios Físicos de los Muros.....	161

4.2.1 Comportamiento Térmico de los Muros	162
4.2.2 Comportamiento Físico de los Muros	163
4.2.3 Comportamiento Estructural	165
4.2.4 Emisión de CO ₂	166
4.2.5 Reducción de los Costos de la Edificación	167
4.2.6 Propuesta de Vivienda.....	168
5. Conclusiones y recomendaciones	173
5.1 Cumplimiento de los objetivos de la investigación	173
5.2 Aceptación o Rechazo de la Hipótesis.....	174
5.3 Importancia de los Resultados Obtenidos	175
5.4 Aportaciones	175
5.5 Recomendaciones para Continuar con la Investigación en el Futuro.....	176
5.6 Nuevas Preguntas de Investigación	177
6. Referencias Bibliográficas	179
6. ANEXOS	184
Anexo 1. Planta arquitectónica.....	184
Anexo 2. Secciones arquitectónicas.....	185
Anexo 3. Fachadas arquitectónicas	186

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ONU	Organización de las Naciones Unidas
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
CO2	Dióxido de carbono
a.C	antes de Cristo
AIS	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
m	Metros
cm	Centímetros
mm	Milímetros
m3	Metros cúbicos
m2	Metros cuadrados
kg	Kilogramo
T	Tonelada
L	Largo
B	Base
H	Altura
Fa	Factor de abundamiento
N/mm²	Newton / milímetro cuadrado
kn	Kilo newtons
W/mk	watts sobre metro kelvin
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAPO	Consejo Nacional de Población
IMADES	Instituto para el Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Colima
MZA	Manzanillo
ARM	Armería
VA	Villa de Álvarez 1
CC1,	Campo Cuatro 1
CC2	Campo Cuatro 2
FZ	Fraccionamiento Zona Mágica
FC	Fraccionamiento Carrizalillo
CUH	Cuauhtémoc
VA2	Villa de Álvarez 2
T1	Test tacto visual
T2	Test de la caída de la bola
T3	Test del cordón
T4	Test de la cinta de barro

T5	Test de la exudación
T6	Test de la botella
T7	Test de la resistencia seca
SENCICO	Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO, 2014)
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
TecNM	Tecnológico Nacional de México
dB	Decibeles
min	minutos
PU	Precio unitario
f'c	Resistencia a la compresión
W	Watts

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del material de la granulometría de los suelos.	39
Tabla 2. Granulometría adecuada para la construcción con Tapia.....	41
Tabla 3. Selección de los suelos del estado de Colima.....	65
Tabla 4. Tabla de los resultados, tipología de suelos de la Sierra Madre sur.	69
Tabla 5. Tabla de los resultados, tipología de suelos Eje Neovolcánico.....	70
Tabla 6. <i>Materiales y volumen de material para el muro A.</i>	85
Tabla 7. <i>Materiales y volumen de material para el muro B.</i>	86
Tabla 8. <i>Materiales y volumen de material para el muro C.</i>	86
Tabla 9. <i>Evaluación del estado físico del muro A.</i>	100
Tabla 10. <i>Evaluación del estado físico del muro B.</i>	107
Tabla 11. <i>Evaluación del estado físico del muro C.</i>	112
Tabla 12. <i>Datos de conductividad de la tierra.</i>	118
Tabla 13. <i>Datos de conductividad de materiales convencionales.</i>	119
Tabla 14. <i>Datos de resistencia en tiempo y espesor de la tierra.</i>	130
Tabla 15. <i>Datos de resistencia en tiempo y espesor de concreto.</i>	131
Tabla 16. <i>Datos de resistencia en tiempo y espesor del block de concreto.</i>	132
Tabla 17. <i>Datos de resistencia en tiempo y espesor del ladrillo.</i>	134
Tabla 18. <i>Datos de la densidad y presión que resisten los muros de tierra.</i>	135
Tabla 19. <i>Resultados de área, presión aplicada y resistencia de los muros de tierra.</i> .	136
Tabla 20. <i>Datos de la densidad y presión que resisten los muros tradicionales.</i>	136
Tabla 21. <i>Resultados de área, presión y resistencia de los muros tradicionales.</i>	137
Tabla 22. <i>Resultado de la emisión de CO₂ de los muros de tierra.</i>	138
Tabla 23. <i>Resultado de la emisión de CO₂ de los muros tradicionales.</i>	139
Tabla 24. <i>Precios unitarios de los preliminares y cimentación.</i>	139

Tabla 25. <i>Precio unitario de un muro tipo A.</i>	140
Tabla 26. <i>Precio unitario de un muro tipo B.</i>	140
Tabla 27. <i>Precio unitario de un muro tipo C.</i>	141
Tabla 28. <i>Precio unitario de un muro de concreto.</i>	142
Tabla 29. <i>Precio unitario de un muro de block.</i>	142
Tabla 30. <i>Precio unitario de un muro de block.</i>	143
Tabla 31. <i>Concepto espacial-funcional.</i>	150
Tabla 32. <i>Resultados del comportamiento térmico de los muros.</i>	156
Tabla 33. <i>Resultado del comportamiento acústico de los muros.</i>	157
Tabla 34. <i>Resultados del comportamiento ante el fuego de los muros.</i>	158
Tabla 35. <i>Resultados del comportamiento estructural de los muros.</i>	158
Tabla 36. <i>Resultado de la emisión de CO₂ de los muros.</i>	159
Tabla 37. <i>Resultados de costo de construcción de los muros.</i>	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Templo de Ramses II, Gourná, Egipto.</i>	29
Figura 2. <i>Beneficios de la construcción con tierra.</i>	31
Figura 3. <i>Detalle de cimentación para muros de tapial.</i>	33
Figura 4. Refuerzo interno para muros de tapial.	34
Figura 5. Formación de los suelos.	38
Figura 6. <i>Formación de los suelos.</i>	39
Figura 7. Distribución granulométrica.....	40
Figura 8. <i>Sistema constructivo con bambú y tapia.</i>	42
Figura 9. <i>Sistema constructivo con bambú y tapia.</i>	42
Figura 10. <i>Muro de tapial tensada.</i>	43
Figura 11. <i>Detalle de Encofrado y método de construcción de muros de tierra.</i>	44
Figura 12. <i>Proceso construcción con tapial, casa Wolf.</i>	45
Figura 13. <i>Sistema constructivo aticismo.</i>	46
Figura 14. <i>Casa madre, construcción sostenible con tapia y bambú.</i>	48
Figura 15. <i>Planta arquitectónica casa O.</i>	49
Figura 16. <i>Vista volumétrica casa O.</i>	50
Figura 17. <i>Barca de tapial.</i>	51
Figura 18. <i>Bastidor de bahareque.</i>	52
Figura 19. <i>Paneles de Bahareque recubiertas de barro.</i>	52
Figura 20. <i>Morfología del bambú.</i>	56
Figura 21. <i>Cimentación para tapia de acuerdo a la norma E.080.</i>	57
Figura 22. <i>Esfuerzos admisibles del bambú.</i>	59
Figura 23. <i>Área de estudio.</i>	61
Figura 24. <i>Selección de suelos en el eje Neovolcánico y en la sierra Madre sur.</i>	63

Figura 25. Selección de bambú en el eje Neovolcánico y en la sierra Madre sur.....	64
Figura 26. Población de suelo y bambú como materia prima.....	65
Figura 27. Ubicación de las muestras que se tomaron del suelo dentro del estado.	66
Figura 28. Muestra de tierra.....	71
Figura 29. Test tacto visual.....	72
Figura 30. Test de la caída de la bola.....	72
Figura 31. Test del cordón.....	73
Figura 32. Test de la cinta de barro.....	74
Figura 33. Test de la exudación.....	74
Figura 34. Test de la botella o sedimentación.....	75
Figura 35. Test de la resistencia seca.....	76
Figura 36. Especificaciones del bambú dentro del estado.....	77
Figura 37. Diseño del tapial deslizable.....	78
Figura 38. Maqueta a escala de la tapia.....	79
Figura 39. Maqueta experimental en funcionamiento.....	79
Figura 40. Costo por la fabricación de un tapial deslizable.....	80
Figura 41. Proceso de fabricación del tapial.....	81
Figura 42. Proceso de fabricación del tapial.....	82
Figura 43. Cargas admisibles en los muros de tapia.....	83
Figura 44. Modelo del módulo experimental de tapia.....	84
Figura 45. Plano del módulo experimental.....	87
Figura 46. Limpieza del terreno.....	88
Figura 47. Trazo del módulo de tapia.....	88
Figura 48. Fabricación de la cimbra.....	89
Figura 49. Colocación de desmoldante a la cimbra (aceite quemado y diesel).....	90
Figura 50. Elaboración de la mezcla para la cimentación.....	90

Figura 51. <i>Construcción de la cimentación.</i>	91
Figura 52. <i>Colocación de las piezas de bambú.</i>	91
Figura 53. <i>Molde de tapial sobre la cimentación.</i>	92
Figura 54. <i>Aplicación de diesel al tapial.</i>	93
Figura 55. <i>Proceso de tamizaje de la tierra.</i>	93
Figura 56. <i>Proceso de compactación.</i>	94
Figura 57. <i>Proceso de compactación.</i>	95
Figura 58. <i>Refuerzo de otate.</i>	95
Figura 59. <i>Proceso de la mezcla para los muros de cal.</i>	96
Figura 60. <i>Proceso de compactación para el muro B.</i>	97
Figura 61. <i>Mezcla tierra, fibra de coco, cal.</i>	97
Figura 62. <i>Guía para la evolución del estado físico de los muros.</i>	99
Figura 63. <i>Presencia de grietas en el muro “A”.</i>	103
Figura 64. <i>Grieta de 7 cm en refuerzo de bambú.</i>	104
Figura 65. <i>Grieta por mala compactación.</i>	104
Figura 66. <i>Desprendimiento de material.</i>	105
Figura 67. <i>Desprendimiento de material por falla estructural.</i>	105
Figura 68. <i>Capas uniformes de compactación.</i>	106
Figura 69. <i>Descimbrado del muro A.</i>	106
Figura 70. <i>Presencia de grietas superficiales.</i>	110
Figura 71. <i>Presencia de grietas en refuerzo de bambú.</i>	111
Figura 72. <i>Desprendimiento en la base del muro.</i>	111
Figura 73. <i>Descimbrado del muro pasadas 24 horas.</i>	112
Figura 74. <i>Presencia de grietas.</i>	116
Figura 75. <i>Desprendimiento de material en la base.</i>	116
Figura 76. <i>Compactación del material.</i>	117

Figura 77. <i>Descimbrado del muro.</i>	117
Figura 78. <i>Gráfica de aislamiento acústico del muro A.</i>	124
Figura 79. <i>Gráfica de aislamiento acústico del muro B.</i>	125
Figura 80. <i>Gráfica de aislamiento acústico del muro C.</i>	126
Figura 81. <i>Gráfica de aislamiento acústico del muro de concreto.</i>	127
Figura 82. <i>Gráfica de aislamiento acústico del muro de block.</i>	128
Figura 83. <i>Gráfica de aislamiento acústico del muro de ladrillo.</i>	129
Figura 84. <i>Gráfica de resistencia al fuego de los muros de tierra.</i>	131
Figura 85. <i>Gráfica de resistencia al fuego de los muros de concreto.</i>	132
Figura 86. <i>Gráfica de resistencia al fuego de muros de block de concreto.</i>	133
Figura 87. <i>Gráfica de resistencia al fuego de muros de ladrillo.</i>	134
Figura 88. <i>Ubicación de Campo Cuatro.</i>	145
Figura 89. <i>Terreno para la propuesta de vivienda.</i>	145
Figura 90. <i>Gráfica solar.</i>	146
Figura 91. <i>E1: Composición arquitectónica de las viviendas de la comunidad.</i>	147
Figura 92. <i>E2: composición arquitectónica de las viviendas de la comunidad.</i>	148
Figura 93. <i>Ejemplo 3 de la composición arquitectónica de las viviendas del estado. .</i> 149	
Figura 94. <i>Concepto funcional.</i>	150
Figura 95. <i>Concepto funcional.</i>	151
Figura 96. <i>Concepto Formal.</i>	152
Figura 97. <i>Propuesta de zonificación.</i>	153
Figura 98. <i>Resultado del estado físico del muro A.</i>	154
Figura 99. <i>Resultado del estado físico del muro B.</i>	155
Figura 100. <i>Resultado del estado físico del muro C.</i>	156
Figura 101. <i>Planta arquitectónica de la vivienda.</i>	160
Figura 102. <i>Resultado de los tres muros descimbrados.</i>	162

Figura 103. *Comparación de la resistencia térmica de los muros.* 163

Figura 104. *Comparación del comportamiento acústico de los muros* 164

Figura 105. *Análisis del comportamiento a la resistencia al fuego de los materiales...* 165

Figura 106. *Análisis de la renitencia a la compresión de los muros.* 166

Figura 107. *Análisis de la emisión de CO₂ de los muros.*..... 167

Figura 108. *Análisis del costo de construcción de los muros.* 168

Figura 109. *Planta arquitectónica* 169

Figura 110. *Fachadas de la vivienda* 170

Figura 111. *Secciones de la propuesta*..... 170

Figura 112. *Perspectiva exterior 01 de la propuesta.*..... 171

Figura 113. *Perspectiva exterior 02 de la propuesta.*..... 171

Figura 114. *Perspectiva interior.* 172

Figura 115. *Perspectiva interior 02.* 172

1. GENERALIDADES

1.1 Planteamiento del Problema

La necesidad de tener espacios seguros para habitar trajo consigo que la mayor parte de las civilizaciones antiguas construyeran sus viviendas con tierra, destacando así edificaciones con más de 9000 años de antigüedad (Minke, 2005). Sin embargo, la evolución de las civilizaciones, el crecimiento de la población, y la demanda de un habitat moderno han generado el aumento de la producción de materiales industrializados para la construcción. Hasta 2019 existía una población de 7,700 millones de habitantes con un crecimiento exponencial, llegando en 2030 a un aproximado de 8,500 millones (ONU, 2019).

Otro factor fundamental a nivel mundial es que un 46% de la población que se encuentra en condiciones de pobreza, “Entre las distintas manifestaciones de la pobreza figuran el hambre, la desnutrición, la falta de una vivienda digna y el acceso limitado a otros servicios básicos como la educación o la salud” (ONU, 2015), es por eso que el acceso a viviendas dignas favorece al desarrollo de la sociedad, brindando un bienestar social.

En América latina, países como; Ecuador, Colombia, Uruguay, Perú, Brasil, Argentina, entre otros, han encontrado en la tierra la respuesta de muchos de sus problemas de vivienda, así como el rescate de los sistemas constructivos, que definen la identidad de cada lugar (Cárdenas y Sarmiento, 2017). El uso de la tierra para la edificación de viviendas en países latinoamericanos es el principal actor en temas de sustentabilidad, tomando en cuenta tres aspectos importantes: la supervivencia de los sistemas constructivos más primitivos, las investigaciones e incentivos, finalmente la búsqueda y oferta de formación en el tema de la construcción con tierra (Garzón y Martins, 2007).

En México, la pobreza se mide de acuerdo a seis indicadores de rezago social; servicios de salud, seguridad social, rezago educativo, calidad y espacio de la vivienda, carencia por acceso a los servicios básicos en la vivienda acceso a la alimentación. En 2018, el 41.9% de la

población mexicana sufría algún grado de pobreza, el 34.5% se considera dentro de los rangos de pobreza moderada, mientras que un 7.4% se encuentra en situación de pobreza extrema. (Consejo Nacional de Evaluación de La Política de Desarrollo Social, 2020).

El estado de Colima cuenta con una población de 731,391 personas (INEGI, 2020), 33.80% de la población se encuentra en situación de pobreza, de las cuales, el 1.9% cumplen con las características para considerarse pobreza extrema, sin embargo, un 32.8 % de la población cuenta con algunos de los indicadores que miden el rezago de vulnerabilidad por carencias sociales; educativo 17.7%, servicios de salud 19.0 %, seguridad social 42.2%, alimentación 17.7 %, servicios básicos en las viviendas 7.9 % y finalmente calidad y espacios de la vivienda 7.4%, representando así que, 84 mil personas dentro del estado que sufren esta problemática (CONEVAL, 2020).

Los municipios con los porcentajes más altos de pobreza extrema son; Ixtlahuacán 10.3%, Minatitlán 8.3%, Armería 7.4%, Tecomán 6.0% y Comala, 5.3%, con un índice de dos o más indicadores por rezago social (CONEVAL, 2017).

1.2 Justificación del Tema de Investigación

La presente investigación tiene como propósito realizar un aporte innovador en la construcción de viviendas dignas y seguras, dirigida a la población de las comunidades rurales vulnerables del estado de Colima, involucrando los aspectos; sociales, económicos, culturales y ambientales de cada una de las zonas, al crear un sistema constructivo mixto de tipia y bambú para reducir dichas problemáticas. En cuanto al aspecto social, se identificó que un porcentaje considerable de la población dentro del estado padece de algún rezago de vulnerabilidad por carencia social, en cuanto a la salud, seguridad, alimentación y vivienda, lo cual es afectado por la economía, ya que en las zonas vulnerables del estado los ingresos económicos son menores al resto de la población, en cuanto al aspecto cultura y ambiental, cada zona cuenta con características particulares, debido a los usos y costumbres.

Además, el implementar alternativas de construcción y aplicarlas a sistemas de la tradición constructiva beneficia a que el acceso a los materiales directamente extraídos del cito, sin mencionar el conocimiento empírico junto con las nuevas alternativas que buscan mejorar la calidad de vida, otorgando una vivienda digna donde las personas puedan desarrollar sus actividades plenamente, así como la disminución de la contaminación ambiental, la construcción con materiales naturales es una de las opciones viables para atacar dichas problemáticas, la tierra ha sido empleada desde tiempos inmemorables como material para la construcción. Sin embargo, la industrialización de la construcción ha traído consigo la utilización de materiales, los cuales necesitan grandes cantidades de energía, químicos y procesos contaminantes que deterioran al medioambiente.

El proyecto tiene beneficios socio-económicos directos en las comunidades rurales, dónde se concentra la población con mayor índice de marginación dentro del estado, aportando el conocimiento necesario para la construcción de una vivienda segura, digna, decorosa y a bajo costo, que cubra una de las necesidades básicas como seres humanos. Se reducirán los costos de los materiales para la edificación, los cuales muchas veces se convierten en un factor determinante que limita el acceso a un espacio digno para habitar, en cuanto a los beneficios ambientales, se verán reflejados en la utilización de materia prima de la región, disminuyendo la utilización de materiales industrializados reduciendo el uso excesivo de energía y contaminantes.

La investigación cuenta con una viabilidad alta, ya que se cuentan con los conocimientos necesarios además de los recursos técnicos, sin embargo, el factor económico y tiempo representa el mayor desafío para la finalización de la misma, además, la metodología empleada podrá ser utilizada en futuras investigaciones, derivadas del estudio de los materiales naturales utilizados para la construcción de viviendas, la interacción y el mejoramiento de los mismos. En cuanto a los beneficios disciplinarios derivados de la investigación pretenden abonar a estudio de materiales y sistemas constructivos realizados dentro de la institución para la innovación tecnológica y la búsqueda de materiales que eficiente la construcción y el diseño arquitectónico.

1.3 Pregunta de Investigación

1.3.1 General

¿El diseño e implementación de un sistema mixto a base de tapia y bambú podrán satisfacer los requerimientos socio-económicos reduciendo el costo de la edificación, y ecológicos al bajar las emisiones de CO₂, que son generados en la producción de la vivienda rural en las comunidades vulnerables del estado de Colima?

1.3.2 Específicas

¿Cuáles son los beneficios de la utilización del bambú como elemento estructural combinado con la tierra apisonada del sitio para la edificación de vivienda rural?

¿Cuál es el factor de reducción en los costos y tiempos de edificación, en comparación a una vivienda tradicional?

1.4 Hipótesis

Habiendo estudiado las características de la tierra y el bambú existentes en la zona, es posible diseñar un sistema constructivo mixto para la edificación de viviendas a bajo costo reduciendo el impacto ambiental al ser producida.

1.5 Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un sistema mixto de tapia y bambú como elemento constructivo para analizar y entender la conductividad térmica y la resistencia estructural para construcción de vivienda rural en el estado de Colima.

1.5.2. Objetivos Particulares

- Identificar las propiedades granulométricas de la tierra y la resistencia del bambú para caracterizar los materiales a utilizar (tierra y bambú).
- Fabricar los moldes deslizables para tapia.
- Realizar el diseño del sistema constructivo.

- Realizar análisis teórico del comportamiento térmico, físico y estructural del sistema.
- Realizar el diseño de un prototipo de vivienda.

1.6 Alcances y Limitaciones

Se busca que la presente investigación tenga un alcance a nivel estatal, y favorezca al desarrollo tecnológico e innovación en el rubro de la vivienda rural en zonas vulnerables, utilizando materiales naturales, que favorezcan al medioambiente y a la economía de la población, las cual tenga acceso a una vivienda digna para el óptimo desarrollo de sus actividades.

En cuanto, a las limitaciones, el acceso a laboratorios para realizar ensayos específicos de la granulometría de la tierra, y un análisis del comportamiento estructural ante un sismo y la erosión de los muros durante la temporada de lluvias.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Documentos Existentes

2.1.1 Primeras Construcciones con Tierra

Dander (2012) menciona que en el periodo neolítico 10,000 años a. C, al convertirse los hombres en sedentarios buscaron un espacio donde refugiarse, almacenar alimentos y proteger sus animales, naciendo así las primeras construcciones utilizando madera, ramas y tierra para las paredes (p.9). Las diferentes culturas a lo largo de la historia han utilizado la tierra para edificar sus viviendas, templos y otros edificios. Según Minke (2005), se han encontrado construcciones elaboradas con tierra que datan desde hace 7,000 años a. C (p.13).

De acuerdo con los datos mencionados por Dander (2012), en el año 3,200 a. C, la cultura Sumeria, que vivió en lo que actualmente es Irak, fue uno de los antecedentes más significativos de la historia y evolución del hombre, debido a sus múltiples aportes a la agricultura y ganadería, además de ser de las primeras culturas en crear trazas urbanas, donde los principales materiales para la edificación de las viviendas fueron los ladrillos de adobe vertidos en moldes y secados al sol (p.20-21) .

Los egipcios en el año 3,100 a. C, desarrollaron grandes aportaciones al arte y la arquitectura, entre sus principales materiales constructivos, se encuentran grandes bloques de piedra para la construcción de los grandes templos, y para las casas más pequeñas eran utilizados los ladrillos de adobe, maderas y pocas cantidades de piedra (Dander, 2012,p.26-28). Minke (2005) menciona como ejemplo las bóvedas construidas con adobe de la tumba mortuoria de Ramsés II en Gourná, Egipto, 1,000 a. C, (p.13), como se puede ver en la figura 1.

Figura 1.*Templo de Ramses II, Gourná, Egipto.*

Nota. Tomado y adaptado de la imagen original 1.2-1 Almacenes, Templo Ramses II Gourná, Egipto. Minke (2005).

Otro ejemplo, de las la utilización de la tierra para la construcción de edificios de las grandes civilizaciones que surgieron a lo largo de la historia, es la muralla China, la cual se construyó hace 4,000 años, casi en su totalidad con tierra apisonada (tapial) y posteriormente enchapada en piedras naturales y ladrillos. El centro de la Pirámide del Sol, construida entre los años 300-900 d. C, en lo que actualmente es Teotihuacán, México, se cree que utilizaron un poco más de 2 millones de toneladas de tierra apisonada (Minke, 2005,p.13).

2.1.2 Beneficios y Desventajas de la Construcción con Tierra

La tierra posee múltiples beneficios como un material constructivo, de acuerdo con Minke, (2005), la utilización de la tierra como material constructivo genera espacios, en donde el nivel de confort alcanzado es superior a los convencionales, eliminando la utilización de aparatos electrónicos que permiten regular la temperatura en el interior. Este material posee diversos beneficios, los más importantes se describen a continuación:

Regula la humedad: su función de absorber y liberar la humedad en un tiempo reducido, favorece a un mejor comportamiento en comparación de los ladrillos recocidos, por lo tanto, la tierra se puede humedecer pero no descomponer (Minke, 2005).

Acumula el calor: en zonas con cambios abruptos de temperatura durante el día y la noche, además almacena la energía y la libera lentamente, favoreciendo al confort térmico (Minke, 2005).

Ahorro energético y disminución de la contaminación: no se producen contaminantes durante su fabricación, si esta se hace como tierra cruda y no se necesita transporte (Minke, 2005).

Es reutilizable: en contraste de otros materiales, no se considera como un escombros que contamine, ya que puede ser humedecido, triturados y se puede reutilizar nuevamente (Minke, 2005).

Economiza materiales de construcción y costos de transporte: es un material que puede ser encontrado en el sitio, e incluso si es necesario transporta de otro lugar, el costo es menor en comparación a otros materiales (Minke, 2005).

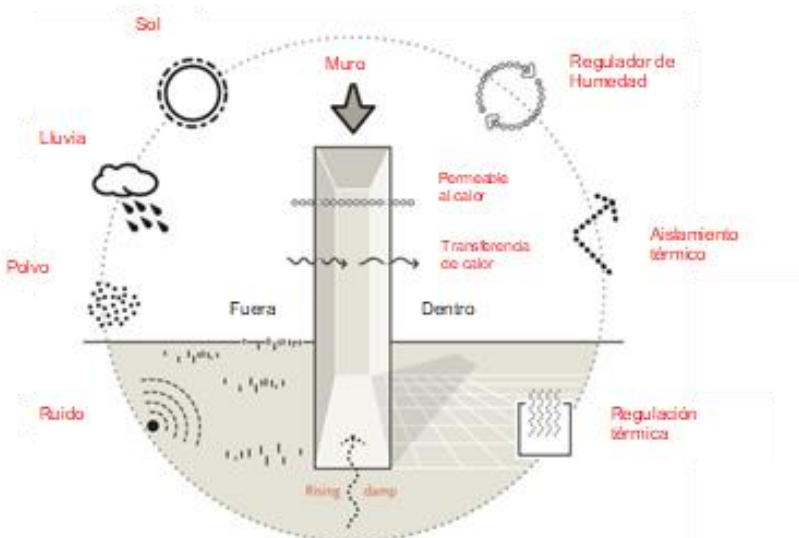
Apropiado para la autoconstrucción: ya que no requiere de herramientas o personal especializado, solo se necesitan conocimientos básicos del sistema y el material (Minke, 2005).

Preserva la madera y otros materiales orgánicos: evitar el contacto directo con el oxígeno los mantiene secos, creando equilibrio de humedad, donde los insectos y hongos no pueden resistir (Minke, 2005).

Además, las construcciones con tierra como aislantes acústicos, evita la contaminación de sonido al interior procedente del exterior, siendo mucho más eficiente que los muros de otros materiales (Gatti, 2012, p.14). En la figura 2 se observan las propiedades de la tierra utilizada para la edificación de viviendas.

Figura 2.

Beneficios de la construcción con tierra.



Nota. Tomado y adaptado del libro *Arquitectura y Construcción en Tierra*, Gatti, 2012, p.15.

Las desventajas al utilizar la tierra como material constructivo son las siguientes:

La poca durabilidad: es un material que se deteriora fácilmente con el agua, por lo cual requiere de constante mantenimiento (Ministerio de la Protección Social, 2016) .

Limitaciones estructurales: se deben construir muros con grandes espesores, es necesario reforzar las estructuras para mejorar sus comportamientos ante la flexión, torsión y tracción, principalmente estos refuerzos se hacen mediante bambú o acero (Ministerio de la Protección Social, 2016).

Tiende a generar grietas: entre el 3-12% en mezclas de adobe y 0.1%-2% en tapia, para minimizar esto, es necesario reducir el contenido de arcilla y de agua o en su caso agregar algún tipo de aglutinante como la cal o el cemento (Ministerio de la Protección Social, 2016).

Poca aceptación por la sociedad: ya que en la actualidad existe una predilección por los materiales industrializados debido a la falta del conocimiento de los beneficios de construir con tierra (Ministerio de la Protección Social, 2016), además, Catalán (2017) afirma que “puede ser

asociada algunos prejuicios, sobre todo en países más desarrollados, puede ser relacionada con la pobreza, con la poca durabilidad o falta de resistencia ante impactos naturales.” (p.8).

Las técnicas constructivas con el paso de los años y las investigaciones han ido evolucionando, logrando con ello mejorar la eficiencia y seguridad estructural, por lo tanto es de suma importancia antes de la construcción de una vivienda con tapia, hacer las pruebas necesarias de la materia prima, en este caso la tierra, a la cual se le pueden añadir, cal, arena, cemento o pequeñas piedras para estabilizarla, es recomendable utilizar tierra arenosa, con bajas cantidades de limos y pasarla por un proceso de tamizaje.

2.1.3 ¿Qué es la Tapia?

A continuación, se mencionan algunos autores y sus definiciones de tapia. Para Cuchí (1996) y López (1999), la tapia es una técnica constructiva tradicional modular que utiliza a la tierra extraída del sitio como la principal materia prima. El Centro de Industria de Construcción (2005), Minke (2005), y Rodríguez (2015), coinciden en que la tapia consiste en rellenar un encofrado de madera compuesto por dos tablonces separados a una distancia igual al espesor normal de los muros de piedra, el material se vierte en capas de tierra humedecida de 10 a 15 centímetros y se apisonan de manera uniforme, con pisón de madera, mientras que el Ministerio de la Protección Social (2016) menciona que pueden alcanzar una altura máxima de 20 cm, sin embargo, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2004) establece que no deben rebasar los 10 cm.

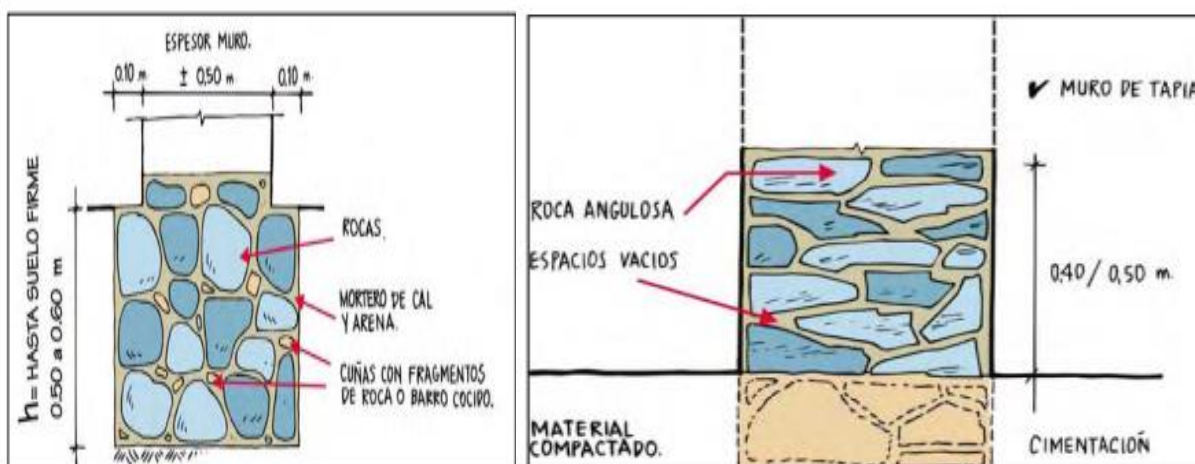
Según menciona Hernández (2016), para la fabricación del muro, es necesario hacer la mezcla de la tierra hasta obtener un aspecto homogéneo, se añade el agua para alcanzar la humedad necesaria, se vierte en el molde de madera y se compacta, una vez terminado el procedimiento, se hace un curado de hasta 30 días, de ser necesario se puede agregar un aglomerante como la cal o la arena, y posterior a esto se puede colocar algún recubrimiento. López (1999) dice que es necesario contar con tres o cinco personas para realizar el

procedimiento, uno o dos para verter el material y el resto dentro del molde para apisonar la tierra.

De acuerdo con el Manual para la Rehabilitación de Vivienda Construida en Adobe y Tapia Pisada (AIS, 2004) de Colombia el proceso constructivo más utilizado para la edificación con tapia es a base de una cimentación, comúnmente en forma de T o L, se puede construir a base de piedras de tipo angulosa, redondas o ambas, además de un entramado de vigas para recibir los muros. Los cimientos alcanzan un peralte de 0.60 m, y la base depende del espesor del muro, además, se consideran los sobrecimientos, los cuales son elementos colocados sobre el cemento sobresaliendo hasta 0.50 m de la cota de piso, su finalidad es proteger al muro de la humedad, escurrimientos de agua, generalmente se fabrican de un material rígido y resistente como ladrillos cocidos, piedras entre otros, en la figura 3, se muestra un detalle del cimiento y sobrecimiento.

Figura 3.

Detalle de cimentación para muros de tapia.

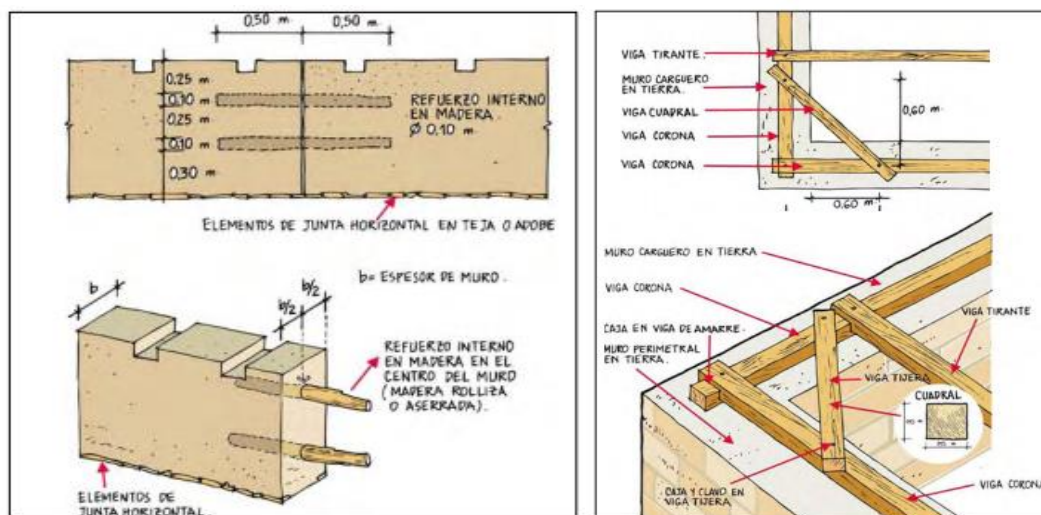


Nota. Tomado del Manual para la Rehabilitación de Vivienda Construida en Adobe y Tapia Pisada (AIS,2004), p.5.

Los “aparejos” de tapias consistente en la colocación de bloques de tierra apisonada sin existir ninguna conexión entre hiladas, colocando pedazos de teja o ladrillos, cañas o esterilla de bambú. Las esquinas generalmente se forman de dos muros, uno perimetral y el otro de carga. Ocasionalmente los muros de tapial no se refuerzan con alguna estructura interna, pero en ocasiones se colocan algunos refuerzos horizontales como maderas, caña de bambú o guadua, principalmente en las juntas verticales, en los vanos de puertas y ventanas se recomienda colocar vigas de madera de 0.20 x 0.15 m, apoyada sobre los muros, en caso de existir entrepisos es necesario colocar vigas de madera como plataformas de apoyo que transmiten las cargas hasta la cimentación, en la figura 4 se observan detalles de los aparejos y los refuerzos de cerramientos.

Figura 4.

Refuerzo interno para muros de tapial.



Nota. Tomado del Manual para la Rehabilitación de Vivienda Construida en Adobe y Tapia Pisada, (AIS,2014), p.13.

El Manual del Centro de Industria y Construcción (AIS, 2004), indica que para la construcción de muros de tierra pisada es necesario realizar la extracción del material del mismo suelo donde se realizará la construcción, sin embargo no toda la tierras es adecuada, para ello es necesario asegurarse que debe de estar compuesta por; gravillas, arena, limo y arcilla, es obligatorio proteger el material de la lluvia, además se debe de librar de los materiales vegetales como, raíces, hojas, paja, entre otros.

De acuerdo con el Ministerio de la Protección Social, (2005). Para determinar el tipo de tierra no existe una medida exacta entre peso o volumen, peso es necesario conocer los agregados que contiene y la relación de porcentajes. Para determinar estos es preciso realizar pruebas de laboratorio (ensayo de granulometría¹, sedimentación², límite de Atteberg³, ensayo de Proctor⁴, ensayo de tracción⁵) o en campo.

Para la construcción de tapia, es necesario identificar la cantidad de humedad de la tierra, ya que esta juega un papel fundamental en el tipo de sistema constructivo. Se dividen en cuatro categorías de acuerdo con el Ministerio de la Protección Social, (2005), estado sólido o tierra recién excavada, estado líquido para vaciado en moldes, estado Plástico para moldeado y finalmente el estado seco para los muros de tapia o sometidos a compresión.

De acuerdo con el AIS (2004) el encofrado para construir un muro de tapial debe ser sólido y estable, ya que debe soportar esfuerzos y vibraciones debido a la compactación, fácil de maniobrar, y que se encuentra bien alineado. Se coloca el encofrado de acuerdo con el espesor de los muros de piedra, debe de estar aceitado para poder manipular de manera correcta, antes de comenzar se extiende una capa de cal, y arena en los bordes.

¹ Ensayo de granulometría: El ensayo consiste en dividir y separar el material mediante una serie de tamices en varias fracciones granulométricas de tamaño decreciente.

² Sedimentación: El ensayo consiste en dividir y separar el material mediante una serie de tamices en varias fracciones granulométricas de tamaño decreciente.

³ Límite de Atteberg: también conocido como límites de plasticidad o límites de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos.

⁴ Ensayo de Proctor: pretende determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad optima necesaria para alcanzar esta densidad.

⁵ Ensayo de tracción: Es un método de ensayo mecánico de materiales para determinar los valores característicos de los materiales.

El encofrado, molde o tapial, es un elemento fundamental para la construcción de muros de tierra apisonada, ya que debe contar con características particulares para optimizar su funcionamiento. De acuerdo con Minke (2005) se trata de “los tablonos paralelos separados se unen por medio de travesaños que atraviesan el muro” (p.61).

La dimensión del encofrado depende de las necesidades y características de los muros, López (1999), Hernández (2016) y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2004), concuerdan en la implantación de un encofrado de madera, cuyas dimensiones van de los 2.00 m a los 3.00 m de largo, mientras que la altura puede variar entre los 0.80 m hasta 1.00 m, en cuanto a la anchura, se toma como referencia el espesor del muro, es recomendado que este sea mayor de 0.30 m hasta los 0.50 m. En contraparte Mileto, Vegas y Cristini (2012), refieren que el largo del molde no debe ser menor al 1.50 m y no mayor al 2.50 m, la altura tendrá que respetar los 0.80 m y la dimensión del muro debe de ser de 0.45.

2.1.4 Tipos de Tapias

De acuerdo con un estudio realizado por Mileto, et al. (2012), en España se encuentra una gran variante de tapia de tierra tradicionales, tomando la materia prima del lugar y surgiendo algunas variantes de acorde al lugar.

Tapia ordinaria: es aquella que solo depende de la granulometría y la humedad de la tierra, vertiéndola en un encofrado de madera, siendo una de las más antiguas, utilizando madera ordinaria para los encofrados y medidas que varían dependiendo de la zona, (Mileto et al. 2012).

Tapia mejorada: es aquella la que se le agrega grava, piedras de diversos tamaños para mejorar la compactación de la mezcla (Mileto, et al. 2012).

Tapia acerada: a la mezcla de tierra de le agrega cal y arena para revestir las caras exteriores (Mileto et al. 2012).

Tapia con brechas: con un refuerzo en la parte inferior realizado con mortero, formando un ángulo que pueden ser de yeso, el cual se puede colocar en los límites para mejorar la residencia entre los módulos (Mileto et al. 2012).

Tapia Mixta: es aquella tapia a la cual se le agregan refuerzos estructurales ajenos al mismo material, con diferentes funciones y características (Mileto et al. 2012).

Tapia con mampuesto: se trata de la colocación de elementos estructurales en puntos importantes de la estructura, incrustados en la mezcla o en contacto con los tableros de refuerzo (Mileto, et al. 2012).

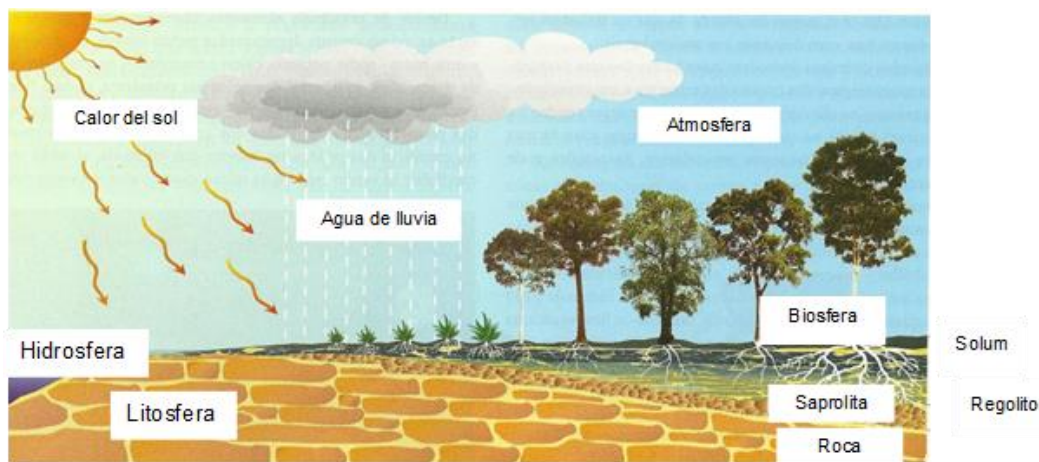
Tapia de ladrillos: es parecido al caso anterior, en este caso los refuerzos son ladrillos, sin cocer en forma de adobes o cocidos y varía de acuerdo al encontrado y la posición de los ladrillos (Mileto,et al. 2012)

2.1.5 El Suelo (Tierra) como Materia Prima

El suelo es producto de la erosión de las rocas en la corteza terrestre, se reconoce como uno de los recursos naturales no renovables fundamentales para la vida del planeta, ya que su formación y generación es un proceso lento, mientras que su degradación y deterioro son más rápidos, esta ocurre fundamentalmente a través de la pulverización de las rocas provocada por movimientos glaciares, del agua y el viento, por la expansión y la contracción térmica de las rocas o por la expansión del agua congelada en grietas de las rocas. Adicionalmente los ácidos orgánicos existentes en las plantas, las relaciones químicas producidas por el agua y el oxígeno también provocan la erosión de las rocas (Minke, 2005,p.23), en la figura 5, propuesta por Lepsch (2010), se pueden identificar los principales elementos que intervienen en la formación de los suelos.

Figura 5.

Formación de los suelos.



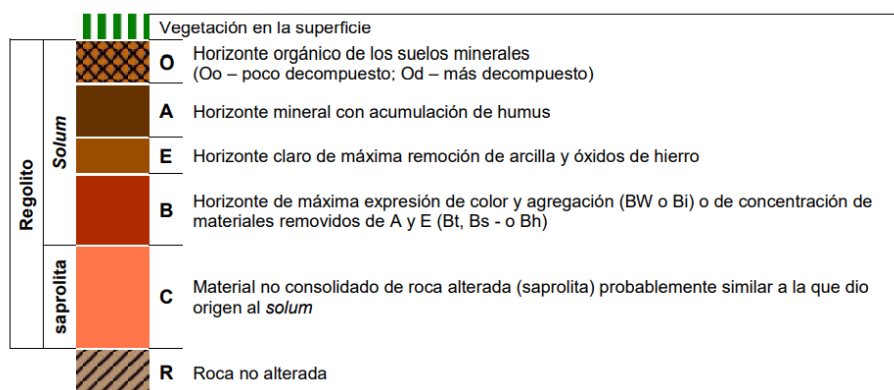
Nota. Tomado y adaptado de Lepsch (2010), p.31. Conservación y Formación del suelo.

La tierra es un material presente en prácticamente todos los sitios, sin embargo, no toda es adecuada para la construcción, es necesario asegurarse que el material se encuentre libre de humus, que de acuerdo con (Gatti,2012) “aquella primera capa de tierra que contiene materiales orgánicos, hongos, raíces, bacterias, etc.” (p.10).

Lepsch (2010) el suelo se compone de varias capas llamadas horizontes, el espesor de los mismos depende del tipo de suelo, como se puede observar en la figura 6, el Solum (suelo) es la capa superficial, se compone de material orgánica, llamado horizonte orgánico de suelos mineral, el siguiente es mineral con acumulación de homus, el sucesivo con máxima separación de arcilla y óxido de hierro, con mayor color y agregación, la subsiguiente capa es la saprolita, que es la roca que sin alteraciones estos elementos componen al regolito, o la manto de roca suelta, de material no solidificado, formada por gravas minerales que no forman aún un suelo. Según Martins et al. (2009) los suelos apropiados a la construcción generalmente están ubicados en el subsuelo, también llamado horizonte B, encontrándose libres de la materia orgánica encontrada en la superficie terrestre.

Figura 6.

Formación de los suelos.



Nota. Tomado y adaptado de Lepsch (2010), p.31. Conservación y Formación del suelo.

2.1.6 Granulometría

En el suelo podemos encontrar diversas texturas que hacer referencia a los componentes granulométricos en diferentes tamaños, dentro de los cuales podemos encontrar; la grava, arena, limos y arcillas, de acuerdo con la norma brasileña NBR-6502, (Keil,1967) el tamaño de las partículas que componen los suelos se clasifican de acuerdo a lo señalado en la tabla 1.

Tabla 1.

Características del material de la granulometría de los suelos.

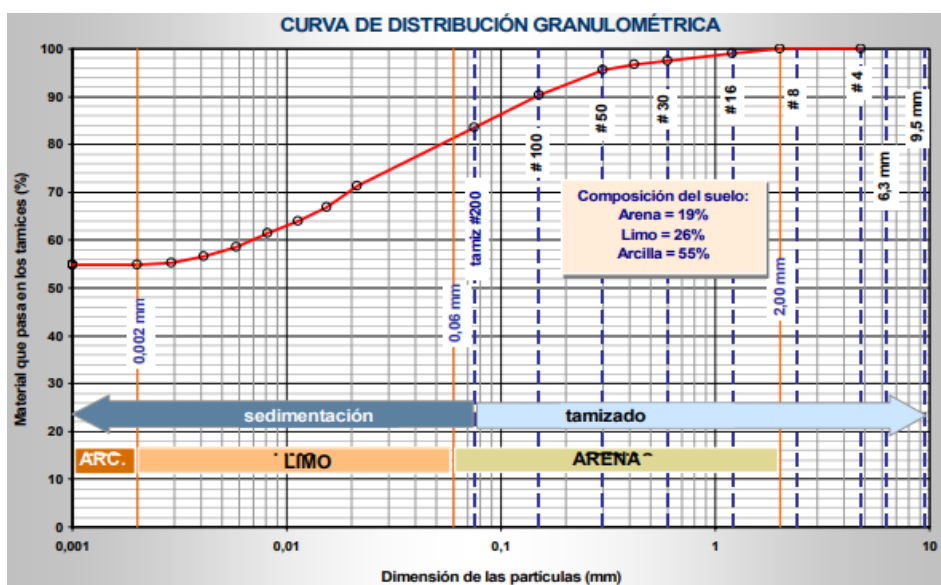
DIAGNÓSTICO DE LOS GRANOS D(MM)	CLASIFICACIÓN DE LAS PARTÍCULAS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
$2 \leq d \leq 20$	Grava	Elemento inerte y resistente, de consistencia sólida.
$0,06 \leq d < 2$	Arena	Elemento Inerte sin cohesión, derivada principalmente del cuarzo
$0,002 \leq d < 0,06$	Limo	sin cohesión, disminuí la resistencia de la arena
$0,002 \leq d < 0,06$	Arcilla	sin cohesión, disminuí la resistencia de la arena

Nota. Elaboración propia adaptado como referencia de NBR-6502, Keil,1967.

Según el autor Martins et al. (2009) los elementos más importantes de los suelos usados en la construcción son: la selección, composición granulométrica, plasticidad y retracción y el control de la ejecución, humedad y grado de compactación. El diagrama de la curva de la distribución granulométrica, de acuerdo a la distribución de las partículas se pueden identificar las pruebas apropiadas para determinar cada uno de los elementos. Para las partículas grandes (grava y arenas) es necesario realizar un ensayo de tamizado, mientras que para las partículas finas (arcilla y limo) se recomienda un análisis de sedimentación como se ve en la figura 7.

Figura 7.

Distribución granulométrica.



Nota. Tomado de Martins Neves et al., 2009, p.7. Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra.

Según Martins et al. (2009), Doath , Hays, Houben, Matuk , (1991) el material adecuado para la construcción de tapias es aquel que cuenta con un porcentaje de grava entre el 0-15%, arena entre 40-50%, limo del 20 al 35-% y arcilla entre 15-25, como se muestra en la tabla 2, además, la humedad es un factor importante para hacer la compactación de la tierra, de acuerdo con la norma peruana E.080 indica que el rango debe rondar entre 10% y 15%.

Tabla 2.

Granulometría adecuada para la construcción con Tapia.

DIÁMETRO DE PARTÍCULAS EN mm	CLASIFICACIÓN	PORCENTAJE
$2 \leq d \leq 20$	Grava	0-15
$0,06 \leq d < 2$	Arena	40-50
$0,002 \leq d < 0,06$	Limo	20-35
$d < 0,002$	Arcilla	15-25

Nota. Elaboración propia tomado de a referencia de Tomado de Martins et al., 2009, Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra.

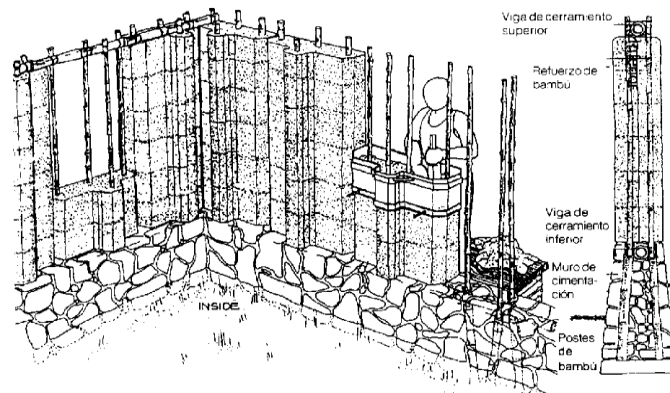
2.1.7 Estado Actual de la Tapia

En la actualidad se han realizado diversas investigaciones con respecto a la construcción con tapia, haciendo énfasis en los sistemas estructurales que ayuden a reforzar los muros y de esta manera se obtenga una mayor resistencia antisísmica, son dejar de lado la cuestión estética y las nuevas tendencias de diseño arquitectónico.

En el capítulo 6 del Manual de construcción para vivienda antisísmicas de tierra de Minke, (2014), se encuentra como referencia que en 1978 se realizó una investigación entre la universidad de Francisco Marroquín y el centro de Tecnología de Apropiada en Guatemala, el cual consistió en la elaboración de un elemento de tapia reforzado con bambú con 0.80 m de largo, 0.40 m de altura y de 0.14 a 0.30 m de espesor, en un encofrado de metal en forma de T, donde se insertaron cuatro varas verticalmente de bambú de entre 0.02 y 0.03 m, se fijaron a una base de mampostería de piedra y en la parte superior un encadenado de bambú regular como se observa en la figura 8.

Figura 8.

Sistema constructivo con bambú y tapia.

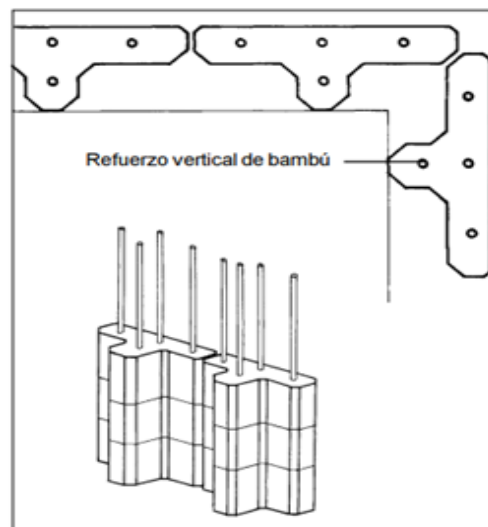


Nota. Tomado de Manual de Construcción para Vivienda Antisísmicas de Tierra, 2014.

Según lo mencionado por Minke (2014) “una solución para estabilizar muros de barro contra los impactos horizontales de un sismo es utilizar elementos verticales de madera o bambú dentro del muro” (p.19), utilizando refuerzos horizontales es poco eficiente y r peligroso ya que no cuentan con un amarre en la tierra. Debido a la integración de las nervaduras, este tiene cuatro veces más resistencia a los impactos horizontales, como se aprecia en la figura 9.

Figura 9.

Sistema constructivo con bambú y tapia.



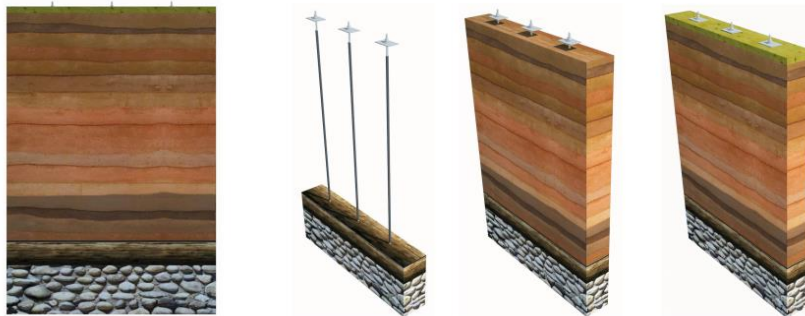
Nota. Tomado de Manual de Construcción para Vivienda Antisísmicas de Tierra, 2014.

Otro ejemplo es la propuesta de Barros & Imhoff (2010), los cuales desarrollaron una investigación para el mejoramiento de la tapia postensada, el cual consiste en un sistema constructivo estructural a base de suelo-cemento compactado capaz de resistir sismos, con la finalidad de utilizarse en la construcción de viviendas a bajo costo en el ámbito rural.

Tomando como referencia la construcción de viviendas con tapia en diferentes disposiciones estructurales, utilizado refuerzos verticales dentro de los muros de caña de colugue de 2 a 2.5 cm, sujetos a la cadena superior y a la cimentación. Se propuso colocar un alma de tubos de plástico para insertar un hilo de acero y coronando con un tablón que funciona como una cadena, pasando el hilo a través de este, una vez terminado el muro se aplica tensión, para que este trabaje a tracción y el muro a compresión, aumentando así su resistencia y rigidez, (Barros & Imhoff, 2010,p.34), en la figura 10, se observa el modelo de los muros tensados.

Figura 10.

Muro de tapia tensada.



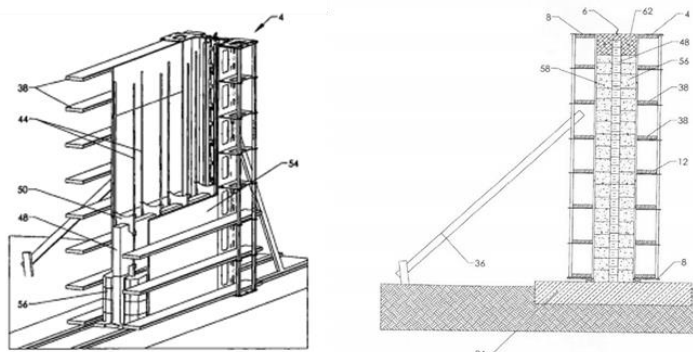
Nota: Barros & Imhoff, 2010. Resistencia sísmica del suelo-cemento postensado en construcciones de baja complejidad geométrica, p.3.

Existen algunos sistemas y herramientas para la construcción de muros de con tierra, los cuales se han patentado a lo largo de los años, un ejemplo de los mismos es el encofrado y método de construcción de muros de tierra apisonada de Krayenhoff, (2013), se trata de un

sistema de encofrado para la construcción de un muro de tierra apisonada se conforma por una serie de paneles y perfiles que pueden configurarse en diversas configuraciones, donde se pueden ajustar las anchuras para la construcción de los muros. En la figura 11, se observa la sección de un muro de tierra, en conjunto de los paneles estructurales que conforman el encofrado, así como la vista frontal de un muro terminado de acuerdo con la configuración de los paneles y la tierra apisonada.

Figura 11.

Detalle de Encofrado y método de construcción de muros de tierra.



Nota. Tomado de Krayenhoff, 2009, Patente de Formwork and method for constructing rammied earth walls.

2.1.8 Ejemplos de Vivienda Social

Casa Wolf, se trata de una vivienda unifamiliar en Barichada, Colombia con las técnicas tradicionales “muros en tapia y en mampostería de piedra, pisos y tejas de barro cocido, revocos de tierra con pintura de cal y cubierta de madera y caña brava”. (Rey, 2019, p.898). El material predominante en la construcción es la tierra encontrada directamente en el sitio, los muros son fabricados con la técnica de la tapia, para las cimentaciones se utilizó piedra extraída del lugar, además se manejaron canteras para los pisos y cal en mezclas para recubrimientos de muros,

los techos se construyeron con caña brava (Arundo Donax) y los amarres se hicieron con fibras vegetales.

Este proyecto surge como respuesta a la falta de un seguro de vivienda para los trabajadores vulnerables que no tiene acceso a prestaciones, de esta manera se encontró una respuesta económica y estética para la edificación de sus viviendas, utilizando la arquitectura tradicional y materiales con baja emisión de contaminantes, y un ahorro significativo en tiempo y dinero invertido en los materiales. En la figura 12, se observa parte del sistema constructivo.

Figura 12.

Proceso construcción con tapia, casa Wolf.



Nota. Tomado de Reyes, 2019, Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 19. Memorias. San Salvador, El Salvador: FUNDASAL / PROTERRA. Pag 898.

A pesar de los diversos sistemas constructivos con tierra, en México la tapia es uno de los menos analizados. Sin embargo, tuvo su auge en el siglo XIII, principalmente en el centro del país. Es por eso que se desarrolló una propuesta donde se integran un muros de tapia pensada como mampostería de grandes dimensiones, “que desarrollen respuestas flexibles ante sismos, pero que se puedan construir con moldes pequeños y livianos, fácilmente desplazables por operarios poco tecnificados, así como por auto constructores” (Guerrero & Soria, 2018,p.4).

Esta propuesta soluciona la retracción del material y el equilibrio hidrológico mediante la utilización de cal y materiales de origen volcánico, al ser abundantes en la región de México generan un bajo impacto ambiental, además de ser un sistema económico y fácil de emplear. Se realizó una experimentación con bloques de 1.10 m x 0.6 m x 0.35 m, como se muestra en la figura 13.

Figura 13.

Sistema constructivo aticismo.



Nota: Tomado de Guerrero & Soria, 2016, Terra vertida compactada, estabilizada con cal y puzolanas, p.4

En 2013, tras los embates de los huracanes Ingrid y Manuel en las costas de Guerrero, una gran cantidad de viviendas, principalmente de adobe resultaron afectadas, es por eso que Gatica (2019), proyecta “La Casa Madre, un proyecto sostenible de vivienda que retoma la relación consciente entre humano y entorno, equilibra el uso de recursos, transformándolos, combinándolos y adaptándolos, formal y funcionalmente a las condicionantes de su medio físico actual”. (p.888).

Se identificó que las principales fallas estructurales que se dieron en las viviendas a raíz de los huracanes, no fueron por estar construidas con adobes, sino al poco conocimiento de los sistemas tradicionales y la adición de elementos ajenos al sistema constructivo, “su diferente comportamiento estructural, actuaron como elementos cortantes en los muros de tierra

reblandecidos por la inundación”. (Gatica, 2019, p.888). Una vez que el gobierno dio respuesta a las necesidades inmediatas de la población, este introdujo materiales prefabricados, que rompen con el estilo arquitectónico y de construcción vernácula tradicional de las comunidades.

En la región se localizaron los principales materiales para la producción de los elementos arquitectónicos y estructurales, como la tierra, maderas, *babusa bulgaris*, *guadua amplexifolia*, especies de bambú localizadas en cañadas y ojos de agua. Por lo tanto, se tomó la iniciativa de rescatar el material proveniente de las demoliciones de las viviendas afectadas “se reciclaron casi 100 adobes, más de 500 tabiques y 2500 tejas de barro cocido” (Gatica, 2019, p.890).

Para realizar el diseño del sistema constructivo previo a los análisis del entorno, se optó por cambiar la fabricación de adobes por la tapia en combinación de bahareque, desplantándolo sobre cimentación de mampostería, los muros de tapia que se reforzaron con malla gallinero, con acabados de tierra y cal, que también favorecen al comportamiento hidrotérmico y sísmico. Los pisos se hicieron de tierra cruda y con tabiques rescatados, para las cubiertas se utilizó el bambú, otate y tejas. El resultado de esta propuesta es la sostenibilidad debido al bajo impacto energético y económico de los materiales, además de la capacitación para las futuras construcciones de estas viviendas activa la economía de la localidad, como se ve en la figura 14.

Figura 14.

Casa madre, construcción sostenible con tapia y bambú.



Nota. Tomado de Gatica, 2019. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, 19. Memorias. San Salvador, El Salvador: FUNDASAL / PROTERRA, p. 887.

Casa O, un proyecto con enfoque social de 2014 en Cabo San Lucas, nace con la necesidad de subsanar la necesidad de viviendas a los afectados por el huracán Odile, retomando los materiales que se tenían al alcance de la mano y formando un proyecto participativo (Morfin, 2015). El concepto principal del diseño es un núcleo o patio central, aplicando los principios bioclimáticos para mantener los espacios confortables. Se compone de tres prismas rectangulares, dos de ellos edificados en su totalidad de tierra compactada o tapia, y uno más de block de cemento, en la figura 15 se observa la planta arquitectónica de la propuesta.

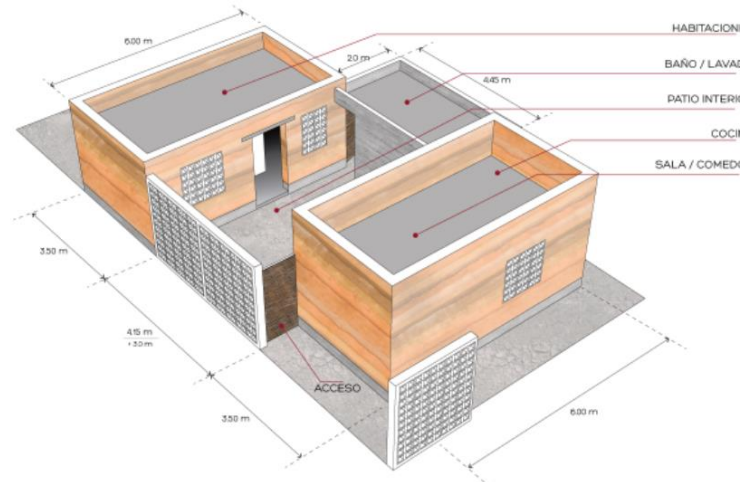
Figura 15.

Planta arquitectónica casa O.



Nota. Tomado de Morfin, 2015, Modelo de vivienda replicable impulsa la autoconstrucción de comunidades afectadas en Los Cabos, México. Recuperado de <https://www.archdaily.mx/mx/776342/modelo-de-vivienda-replicable-impulsa-la-autoconstruccion-de-comunidades-afectadas-en-los-cabos-mexico>

Se compone de un área de servicios, una social y otra de dormitorios, como se observa en la figura 16, las consideraciones de diseño para esta vivienda fueron el entorno socioeconómico y seguridad de la zona, la dinámica de las familias, además de tener un enfoque de autoconstrucción y cohesión social mediante la participación en la construcción de la comunidad (Morfin, 2015).

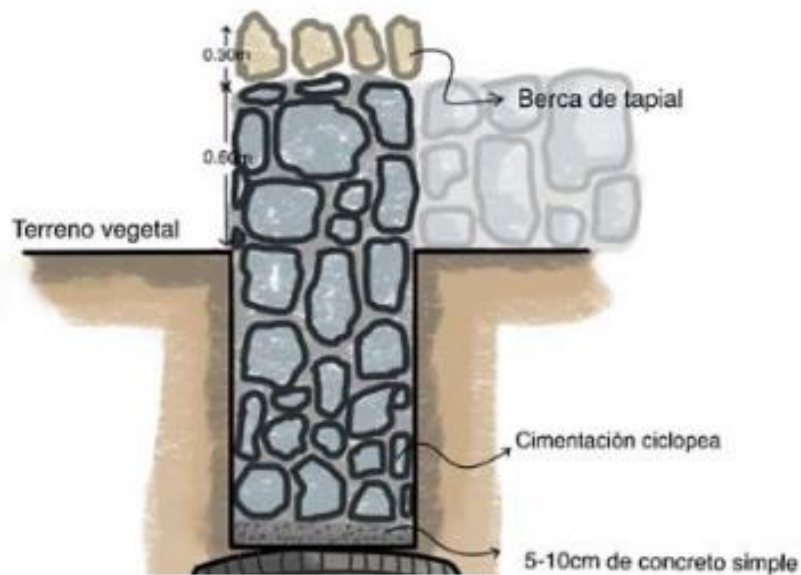
Figura 16.*Vista volumétrica casa O.*

Nota: Tomado de Morfin, 2015, Modelo de vivienda replicable impulsa la autoconstrucción de comunidades afectadas en Los Cabos, México. Recuperado de: <https://www.archdaily.mx/mx/776342/modelo-de-vivienda-replicable-impulsa-la-autoconstruccion-de-comunidades->

La propuesta de Rodríguez, Catañeda & Neria (2020), consiste en un sistema de autoconstrucción dirigido a familias de escasos recursos en Mixquiahuala, Hidalgo, utilizando sistemas vernáculos para lograr una vivienda sustentable. El primer paso es la cimentación desplantada sobre una capa de 5 a 10 cm de concreto simple. Se agregan piedras a la zanja humedeciendo las paredes de la misma y se añaden capara de concreto y se continua con el procedimiento hasta lograr rellenar la zanja y subir 30 cm como mínimo del nivel de suelo.

Las esquinas son las que recibirán los muros de tapia, es por eso que se construye un sobrecimiento de 90 cm de ancho, al cual se le agregan piedras con una separación de 20 cm y se cubrirán hasta la mitad con concreto, a esta última capa se le denomina barca de tapia, figura 17.

Figura 17.

Barca de tapial.

Nota. Tomado de Rodríguez et al., 2020. Diseño de un sistema autoconstructivo a base de tapial y bajareque de bajo costo e impacto ambiental para una vivienda.

Para el bahareque se arman bastidores con madera de pino de 1 ½" x 3" x 10", es necesario contar con dos barrotes de 0.98 m y dos de 2.50 m para formar un marco rectangular al cual se le colocaran refuerzos intermedios, el entramado se hace con carrizos con un diámetro entre 1.5 y 2.00 m y un largo de 2.50 m, formando un entramado como el que se muestra en la figura 18. Para proteger la madera de la humedad es necesario aplicar aceite quemado o algún aceite virgen dejando secar durante dos días bajo la sombra.

Figura 18.

Bastidor de bahareque.



Nota. Tomado de Rodríguez et al., 2020. Diseño de un sistema autoconstructivo a base de tapial y bahareque de bajo costo e impacto ambiental para una vivienda.

Para rellenar los módulos, se utiliza una mezcla homogénea de paja, tierra y agua, y se coloca en el bastidor previamente armado tratando de rellenar todos los huecos, se deja secar durante 48 horas y se hace un aplanado, se debe aplicar sobre la superficie humedecida para que tengan mayor adherencia, como se ve en la figura 19.

Figura 19.

Paneles de Bahareque recubiertas de barro.



Nota. Tomado de Rodríguez, et al., 2020.

Para los muros de tapia se prepara un encofrado de madera tradicional y se coloca sobre la cimentación, se debe de dejar a plomo en la cara exterior del molde y se procedes a rellenar en capas de 8 a 10 con, una mezcla de tierra húmeda con una anticipación de mínimo cinco días, entre capa y capa se agrega una costra de arena, cal y tierra. Los entrepisos se forman con unas estructuras de vigas primarias y secundarias unidas entre con uniones tipo Simpson y posterior a esto se arma un cajón de un marco rígido de barrotes de 2 x 3 pulgadas y se forra con madera contrachapada y se fija al marco y se colocan sobre la estructura principal, estos se pueden recibir con placas de impermeabilizante o teja.

Como resultados se obtuvo una reducción en las emisiones de contaminantes, debido a la utilización de materiales naturales, los cuales reducen la emisión es de CO₂ en comparación con los procesos de fabricación de otros materiales, con la disminución de un 33% en costos y tiempos durante la edificación, además se logró un diseño estético y moderno.

2.1.9 El Origen del Bambú

Se cree que el bambú apareció por primera vez en la tierra hace 250 millones de años, su posible origen sucedió durante era Cretácea un poco antes de la iniciación de la Terciaria, cuando el hombre apareció y es relacionado con China desde la prehistoria (Hidalgo, 1974).

Según Cerrón (2014), el bambú es un pasto gigante y duro, de la familia de las Gramínea, crece entre 1 y 2 cm, pero puede alcanzar altura hasta de 40 m. Se estima que existen 1,200 especies de bambú y 70 géneros alrededor del mundo, de las cuales al menos 500 son originarias de China. Entre las especies de bambú que destacan en América son: arundinaria, guadua y la Chusquea. La especie de la Guadua es uno de los más relevantes en América, debido a sus características, presentando culmos grandes, durabilidad, resistencia física y mecánica utilizado como material sismo resistente utilizado en la construcción.

2.1.10 Beneficios del Bambú

Los beneficios de las plantaciones recaen en tres aspectos importantes sociales, Económico y culturales, de acuerdo al “Manual de manejo integral del bambú” (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2021), en la regios amazónica, las plantaciones de bambú han estado presentes desde la década de los sesenta, siendo utilizados como complementos a la construcción de sus viviendas, hoy en día se ha convertidos en uno de los materiales principales para la construcción de viviendas, atractivos turísticos, restaurantes, kioscos, convirtiéndose en parte de la cultura local, los beneficios que deriva de la producción del bambú son amplios, ya que se requiere mano de obra desde su plantación y los productores que se encargan del control y manejo de las plantaciones, los encargados de costarlo y transportarlo, los constructores y artesanos que generan empleos.

Finalmente, los beneficios ambientales del bambú se centran en las características de crecimiento y propagación acelerados, comparándolo con especies forestales utilizadas en la construcción, es una planta perenne, se adapta a cualquier tipo de suelo y climas, controla la erosión de los suelos, capta el co2 (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2021).

2.1.11 Morfología del Bambú

El bambú es una gramínea con muchas características, convirtiéndose en un material apto para la construcción. Sin embargo, es importante conocer la composición del mismo, ya que de esta manera se puede identificar una planta óptima para ser utilizada en la construcción. A continuación, se describen las partes de una planta de bambú.

Caña, tallo o culmo: nace del rizoma, con altura promedio de 15 m y 10 cm de diámetro, se conforma de cuello, entrenudos y nudos, las paredes tienen un espesor de 1.5 a 2 cm de la base. El cuello es la unión entre rizoma y tallo. Los nudos; es la unión entre los entrenudos siendo estos la parte más fuerte del tallo. (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2021).

Yema: Es un pequeño componente encerrada por la primera hoja modificada de una rama. Está localizada encima de la línea del nodo en direcciones opuestas (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2021).

Hoja caulinar: Nace de cada nudo, tiene forma triangular, de color marrón y protege las llamas y tallos en sus primeras etapas de crecimiento, se cae una vez creciendo las llamas (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2021).

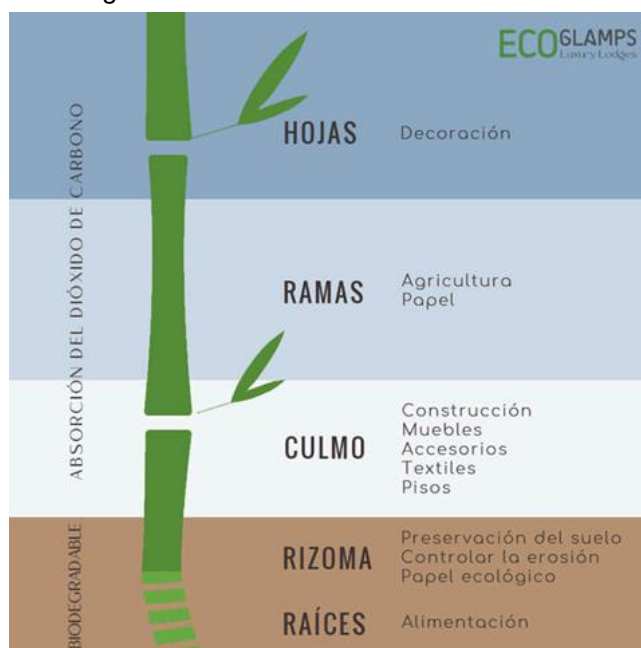
Rizoma: Es la raíz del tallo, su función es captar los nutrientes del suelo, se conforma de tres partes: el cuello del rizoma, el propio rizoma y las raíces secundarias (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2021).

Ramas y hojas: Las ramas crecen opuestas por encima de la línea de los nodos a partir de las llamas, y salen una vez terminado el crecimiento total del tallo. Se denominan como ramas primarias, secundarias y terciarias. Las hojas son alternas, angostas y largas (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2021).

Inflorescencia: formada por espiguillas y presenta una o más flores cubiertas por hojillas que protegen las semillas (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2021). En la figura 20 se muestra la morfología del bambú.

Figura 20.

Morfología del bambú.



Nota. Adaptación tomada de <https://ecoglamps.com/blog/ventajas-y-usos-del-bambu-en-la-construccion/>.

2.2 Normatividad

2.2.1 Norma Peruana E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada

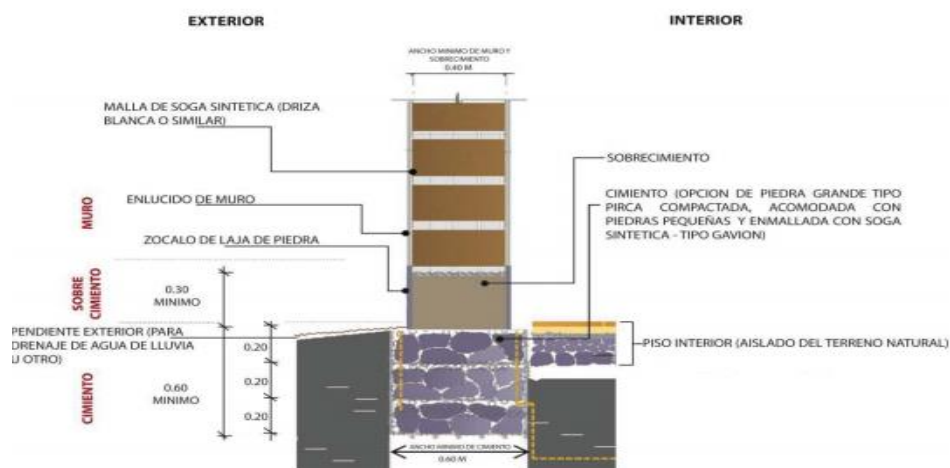
Tiene como objetivo establecer las medidas para la construcción con tierra reforzada, tomando en consideración la seguridad sísmica de las edificaciones, además de promover las peculiaridades de la construcción con tierra reforzada. Dicha norma enlista y define algunos conceptos importantes para la investigación. Las condiciones generales para la construcción con tierra reforzada, en el capítulo II, se enuncian las principales características: Se debe considerar no construir en zonas de riesgo, ya que el suelo debe ser firme además de contar con un proyecto estructural. Para el diseño y construcción de los edificios es necesario seguir algunas recomendaciones, los muros de ancho mínimo 0.40 m, con amarres horizontales y verticales. Se

debe de proyectar una planta simétrica de vanos proporcionados (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017a).

De acuerdo con la norma E 0.80, la cimentación debe tener una altura y ancho mínimos de 0.60 m y un sobrecimiento para recibir el muro del mismo ancho que el cimiento como se muestra en la figura 21. Los muros se diseñan de acuerdo a la resistencia de fuerza sísmica horizontal en su plano, no se deben colocar elementos que impidan el desplazamiento libre del muro. Se deben calcular las áreas tributarias década muro para calcular las fuerzas horizontales para no pasar los esfuerzos admisibles (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017a).

Figura 21.

Cimentación para tapia de acuerdo a la norma E.080.



Nota. Tomado de Norma peruana E.080.

Además, la norma E 0.80 recomienda realizar ensayos de laboratorio para conocer la resistencia del material, en este caso la tierra, para las probetas del tapial, se deben fabricar cubos de 10 x 10 x 15 cm donde se verterá tierra y se compactará con un peso de 5 kg a 10 golpes. Los ensayos de resistencia a la ruptura son: por tracción, compresión, flexión. Tomando

en consideración un coeficiente de seguridad de 2.5 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017a).

Del artículo 12 al 15 se menciona sobre la construcción de tapia, además de los ensayos de laboratorio, se recomiendan hacer pruebas de campo para conocer el contenido de arcilla, dichos ensayos son la prueba de la cinta de barro, resistencia seca, prueba de control de fisuras, y otra más para medir el contenido de humedad en el material. En cuanto al molde o tapial se recomienda un ancho de 0.40 m, una altura de 0.60 m y un largo de 1.50 m, la cual se debe llenar con capas de tierra de 0.15 m y compactar 0.05 m, con un pisón de madera de aproximadamente 10 kg, entre cada capa se debe humedecer. para evitar fisuras en recomendable un secado lento y retirar el molde al transcurrir 3 días como mínimo, y tomar en consideración que la construcción no se debe hacer en temporada de lluvias (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017a).

2.2.2 Norma Técnica E.100 del Bambú

La norma peruana E.100 para el uso del bambú de la especie *Guadua angustifolia*, la cual establece criterios de diseño para viviendas de hasta dos niveles y cargas vivas de hasta 250kg/cm², para ello se deben tomar en cuenta que la madurez de la planta sea de entre 4 a 6 años, la humedad es la correspondiente al lugar, cuando la pieza es estructural de debe proteger ante la humedad, humo, plagas y que las deformaciones no sean mayores al 0.33% de la longitud del elemento, no se deben presentar fisuras internas, y las externas en la parte fibrosa del mismo son admisibles, finalmente no se deben considerar aquellos que tienen rastros de ataques de insectos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017).

En cuanto a los requisitos de resistencia su diseño será para esfuerzos aplicados por las cargas y los coeficientes no menores a los esfuerzos admisibles, en cuanto a los requisitos de rigidez se debe considerar las cargas en servicio, la deformación con el paso del tiempo, elementos y sistema constructivo. El diseño de las cargas debe considerar el peso propio, cargas vivas y muertas, y sobrecargas por vientos, sismos, lluvias, entre otros (Ministerio de Vivienda,

Construcción y Saneamiento, 2017b). Finalmente, los esfuerzos admisibles se deben considerar de acuerdo a la figura 22.

Figura 22.

Esfuerzos admisibles del bambú.

ESFUERZOS ADMISIBLES				
FLEXION (f_m)	TRACCION PARALELA (f_t)	COMPRESION PARALELA (f_c)	CORTE (f_v)	COMPRESION PERPENDICULAR ($f_{c\perp}$)
5 Mpa (50 Kg/cm ²)	16 Mpa (160 Kg/cm ²)	13 Mpa (130 Kg/cm ²)	1 Mpa (10 Kg/cm ²)	1.3 Mp (13 g/cm ²)

Nota. Tomado de Norma técnica e.100 del bambú.

3. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque y Tipo de Estudio

Se trata de una investigación tecnológica aplicada, ya que su finalidad es aportar un producto que satisfaga necesidades a una comunidad determinada, mejorando así su calidad de vida. Según el nivel de profundización, se denomina como una investigación exploratoria, debido a que se hace un primer acercamiento a un problema que se ha investigado en otras regiones del mundo, ya que la construcción de muros de tapia, principalmente reforzados para una mejor resistencia ante los sismos se ha estudiado y hasta regularizado en países sudamericanos. Sin embargo, es algo nuevo para el estado de Colima, por lo tanto, se busca determinar su posible factibilidad para seguir con más proyectos similares.

De acuerdo con los datos que se emplearon para la investigación tiene un enfoque mixto, ya que se relacionan aspectos cualitativos y cuantitativos aplicados en diversas etapas de la investigación, sin menospreciar las peculiaridades de cada una.

Con respecto a la manipulación de las variables, se puede determinar que se trata de una investigación cuasiexperimental, ya que se controlan algunas variables del objeto de estudio, sin llegar totalmente un experimento, ya que las variables a estudiar se pueden elegir y de esta manera determinar su impacto en el fenómeno que se está estudiando.

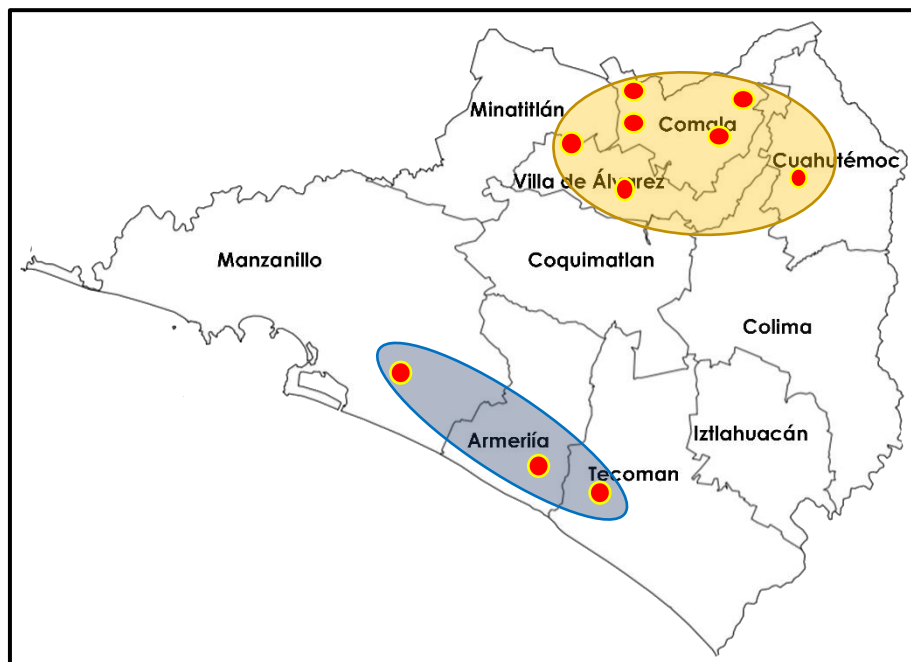
Finalmente, se trata de una investigación hipotético-deductiva, ya que se está utilizando la observación y documentación con respecto al objeto de estudio, para posteriormente generar una hipótesis, finalmente se utilizará la deducción para llegar a las conclusiones, pasando por un proceso de verificación a través de la experiencia.

3.2 Área del estudio

El área de estudio se encuentra localizada en el estado de Colima. Esta a su vez se subdivide en dos zonas; la primera de ellas se muestra en la figura 23, en color naranja e inicia desde la altitud 400, hasta los 1,400 metros sobre el nivel del mar, denominada como “zona montañosa”, formada por los municipios de Comala, Villa de Álvarez y Cuauhtémoc, mientras que la segunda marcada en color azul concierne a los municipios de Manzanillo, Armería y Tecoman, que van desde los 4 hasta los 50 metros sobre el nivel del mar, designada como “zona costera”.

Figura 23.

Área de estudio.



Nota. Elaboración propia, tomado como referencia INEGI CONAPO, 2014.

3.2.1 Suelo como *Materia Prima*

Según el INEGI (2005), el estado de Colima forma parte de las provincias: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur, en la figura 25, observamos en la parte norte al Volcán de Fuego de Colima con altitud de 3,800 m.s.n.m. aproximadamente, formando su cráter un punto límite entre los estados de Colima y Jalisco.

De acuerdo con las características de los relieves están formados por planos inclinados de norte a sur, los suelos del eje Neovolcánico, son aluviales ⁶ productos de las rocas y cenizas provenientes del volcán, se encuentran texturas gruesas y arenosas, finas y con mucha arcilla. Son principalmente suelos andosoles ⁷ y cambisoles⁸.

Dentro de la Sierra Madre del Sur, se observa que continúan con otra llanura extensa en donde se encuentra las localidades de Tecomán, Armería y Manzanillo, en este caso las características del suelo son de tipo residual, poco desarrollados, con texturas arenosas, predominado los suelos regosol dístico⁹, litosol¹⁰, cambisol y feozem¹¹, mientras que en las llanuras costeras predominan los suelos regosol eutrico¹², asociado a feozems háplico, litosales y fluviales eutricos, como se muestra en la figura 24.

⁶ Aluviales: Que se ha formado a partir de materiales arrastrados y depositados por corrientes de agua.

⁷ Andosales: De color oscuro, formados a partir de rocas volcánicas, bien evolucionados y fértiles.

⁸ Cambisoles: Formados sobre diferentes tipos de sustratos, son muy variables.

⁹ Regosol: Suelos desarrollados sobre materiales no excesivamente consolidados y que presentan una escasa evolución.

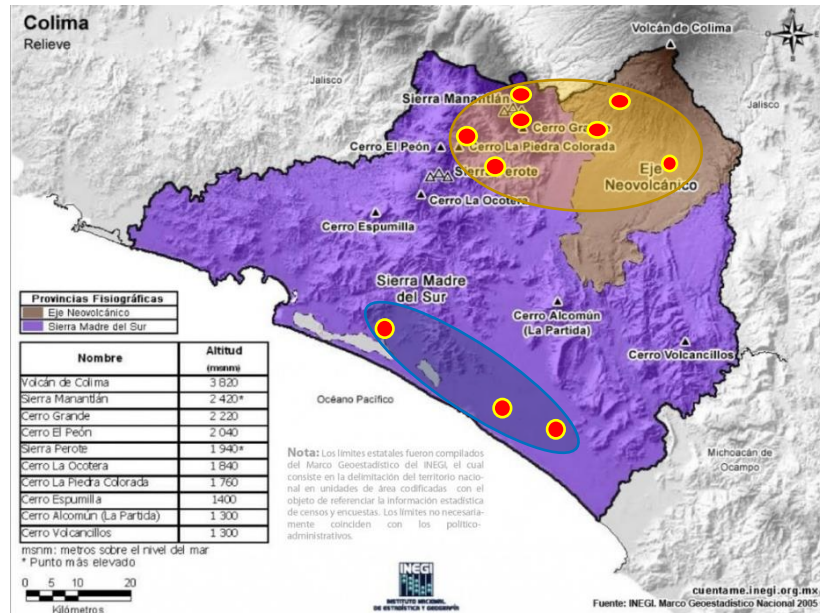
¹⁰ Litosol: son un tipo de suelo con un espesor menor a 10 cm y un volumen total de menos del 20 % de tierra fina sobre afloramientos rocosos.

¹¹ Feozem: Son suelos con igual o mayor fertilidad que los vertisoles, ricos en materia orgánica, textura media, buen drenaje y ventilación, en general son poco profundos, casi siempre pedregosos y muy inestables, restringiendo por ello su uso en la agricultura permanente.

¹² Regosol eutrico: Principalmente arenoso.

Figura 24.

Selección de suelos en el eje Neovolcánico y en la sierra Madre sur.



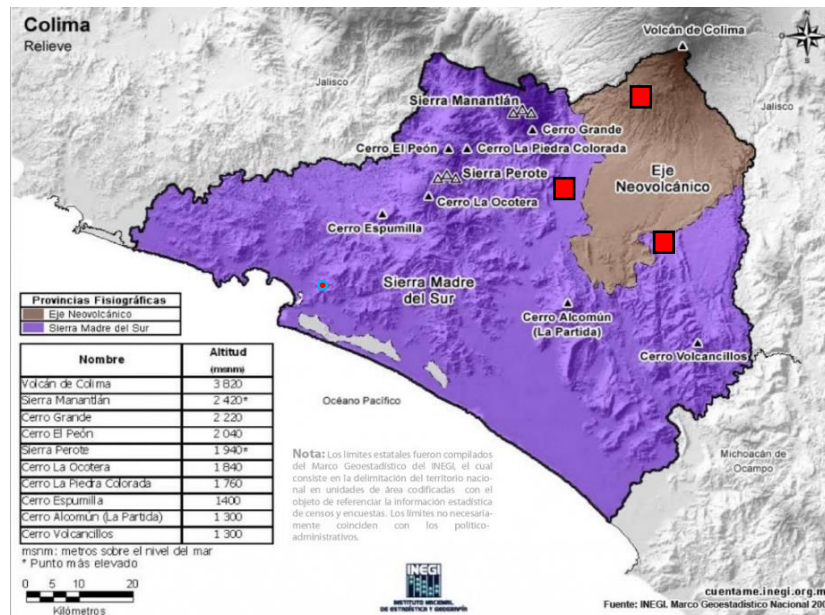
Nota. Elaboración propia, tomado como referencia INEGI, Marco de Geostatístico Nacional, 2005.

3.2.2 Bambú como Materia Prima

De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2016) en conjunto con el Instituto para el Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (IMADES) del Estado de Colima y la Universidad de Colima, se estableció que Comala, Villa de Álvarez y Colima son aptos para la producción de dos especies de bambú; *Otatea acuminata* y *Guadua angustifolia*, en la figura 25 marcada con un cuadro de color rojo, se muestran la zona aptar para su producción.

Figura 25.

Selección de bambú en el eje Neovolcánico y en la sierra Madre sur.



Nota. Elaboración propia, tomado como referencia INEGI, Marco de Geoestadístico Nacional, 2005.

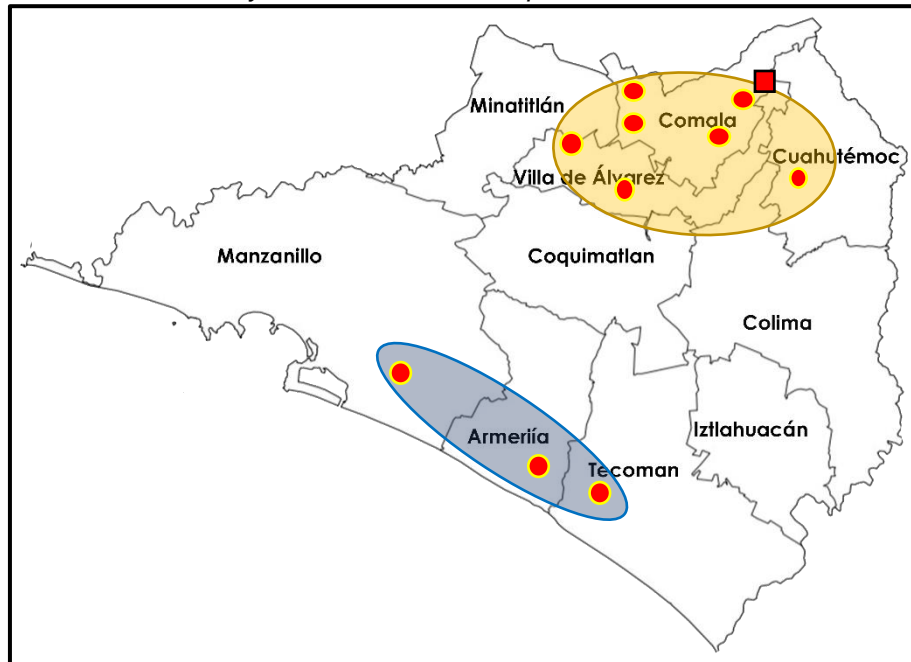
3.3 Población y Muestra

3.3.1 Población de Suelo y Bambú como Materia Prima

La población del suelo como materia prima se encuentra dentro de las dos zonas, Costera y Montañosa, de acuerdo con el relieve existente dentro del estado (Eje Neovolcánico y Sierra Madre Sur), al igual que la población del bambú. En la figura 26, se puede observar la ubicación de la población de suelo, marcado con círculos y el bambú identificado con un cuadrado.

Figura 26.

Población de suelo y bambú como materia prima.



Nota. Elaboración propia, tomado como referencia INEGI CONAPO, 2014.

Para realizar la selección de los suelos, fue necesario identificar las localidades donde se pueden encontrar el material con diversas características, de acuerdo al tipo de relieve como se puede ver en la tabla 3, tomada como referencia de Chávez et al. (2022), de la Sierra Madre Sur, se tomaron cinco muestras, una de Manzanillos, una de Armería, una de Villa de Álvarez y dos de Comala, mientras que del eje Neovolcánico se tomaron cuatro muestras, dos de Comala, una de Cuauhtémoc y una más de Villa de Álvez.

Tabla 3.

Selección de los suelos del estado de Colima.

SELECCIÓN DE SUELOS				
Región	Zona	Lugar	Muestra de suelo	Clave
Sierra Madre Sur	Costera	Manzanillo	1	MZA

	Montañosa	Armería	1	ARM
		Villa de Álvarez	1	VA
		Comala	2	CC1, CC2
Eje Neovolcánico	Montañosa	Comala	2	FZ, FC
		Cuauhtémoc	1	CUH
		Villa de Álvarez	1	VA2

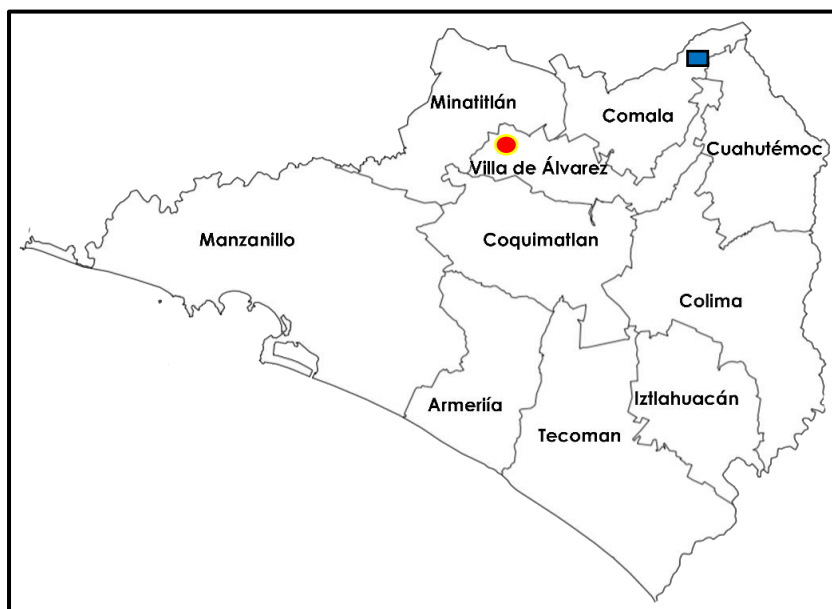
Nota. Selección de los suelos, elaboración propia de la autora, 2022.

3.3.2 Muestra de los Materiales

Una vez identificadas las características de los lugares para tomar los muestreos, fue seleccionado un tipo de tierra dentro del municipio de Villa de Álvarez, mientras que el bambú de la especie guadua angustifolia se tomó de la comunidad del Remudadero y el otate, de la comunidad de campo Cuatro, ambas localizadas en el municipio de Comala. En la figura 27, se representaron con los círculos en color rojo las zonas dónde se tomó la tierra y con los rectángulos azules de donde se tomó el bambú.

Figura 27.

Ubicación de las muestras que se tomaron del suelo dentro del estado.



Nota. Elaboración propia, tomado como referencia INEGI CONAPO,

3.4 Determinación de Variables

Variables Independientes:

- Características de los suelos
- Características del bambú
- Molde para la fabricación del tapial

Variable dependiente:

- Sistema constructivo
- Costo de construcción
- Tiempo de edificación
- Impacto ambiental

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

El método utilizado para recabar información durante el proceso documental fue la búsqueda de archivos, tales como, tesis, artículos, manuales, leyes, libros, tomándolos como antecedentes del tema de estudio, utilizando la técnica de la síntesis de la información y posteriormente se realizaron fichas de trabajo para su utilización como referencias bibliográficas.

3.5.1 Caracterización del Suelo

Para realizar la caracterización de los suelos se utilizó como base el documento titulado “Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra - prácticas de campo” de la Red iberoamericana ProTerra (Martins et al., 2009) y el artículo derivado de esta investigación titulado “Caracterización de los suelos del estado de Colima para la construcción con tierra mediante pruebas de campo”, (Chávez et al., 2022).

Los test aplicados a cada una de las muestras fueron los siguientes; Test tacto visual y de la botella o sedimentación que sirven para determinar la cantidad de partículas (gravas, arena, limo y arcilla) encontradas en el material de muestra, el test de la caída de la bola sirve para identificar la cohesión del material, mientras que los test del cordón, la cinta de barro y de

exudación ayudan a conocer la plasticidad de las muestras, finalmente el test de la resistencia seca, mide la capacidad de firmeza obtenida en un estado sólido.

En la tabla 4, se exponen los resultados de los test aplicados a las muestras tomadas de la Sierra Madre, dónde se identificó que las muestras; CC1 (Campo Cuatro 1) CC2 (Campo Cuatro 2) y MZA (Manzanillos) son materiales con mayor presencia de arenas-limosa de 65 a 90 %, ideal para la utilización en ladrillos prensados, adobe y tierra compactada, mientras que en las muestras de ARM (Armería) y VA1 (Villa de Álvarez 1) se encontró mayor presencia arcillas-limosa de un 78 a 83%, lo cual indica que su utilización en algún sistema constructivo puede ser mejorada con algún tipo de aglomerante, particularmente en el segundo de los casos.

Tabla 4.

Tabla de los resultados, tipología de suelos de la Sierra Madre sur.

Sierra Madre Sur									
Muestra	T1-Tacto visual	T-2 Test de la Caída de la bola	T-3 Teste del cordón	T4.-Test de la cinta de barro	T5.-Test de exudación.	T6.-Test de la botella	T-7 Test de resistencia seca	Clasificación según muestras	Técnica recomendada
CC1	Por tamaño de partículas: predomina la arena con 40% y los limos con 25%. Presenta un color café oscuro, poco brillo, rasposa al tacto y un ligero aroma a materia orgánica.	No presenta un daño significativo, lo cual indica una mayor cohesión.	Frágil: Baja plasticidad.	Corto: plasticidad mediana	Muy lenta: Alta plasticidad	Arena:45.00% Limo:51.67% Arcilla:3.33%	Resistente: Alta plasticidad	Areno-limosa, Limo-Arcillosa, Limo-arenosa, Arcillosa, limo.	Ladrillos prensados, adobe y tierra compactada
CC2	Por tamaño de partículas: predomina la arcilla con 40% y los limos con 20 %. Presenta un color claro, es un material opaco, rasposa al tacto y un ligero aroma a materia orgánica.	No presenta un daño significativo, lo cual indica una mayor cohesión.	Suave: Plasticidad media	Corto: plasticidad mediana	Muy lenta: Alta plasticidad	Arena:25.00% Limo:41.67% Arcilla:3.33%	No resiste: Falta de Cohesión	Arcillo-limosa, arcillosa-arenosa, Arena fina, Arcilla.	Tierra compactada, ladrillo.
MZA	Por tamaño de partículas: predomina la arcilla con 35%, los limos y arenas se presentan en un en una cantidad similar con 30 %. Presenta un color oscuro, es un material opaco, rasposa al tacto y un ligero aroma a materia orgánica.	No presenta un daño significativo, lo cual indica una mayor cohesión.	Frágil: Baja plasticidad.	Corto: plasticidad mediana	Rápida: Poca plasticidad	Arena:41.67% Limo:50.00% Arcilla:8.33%	Resistencia media	Arcillo-lomosa, Arcilla, Limo-arenosa, arenosa.	Ladrillos prensados, adobe y tierra compactada
ARM	Por tamaño de partículas: predomina la arcilla con 45%, los limos 30% Presenta un color oscuro, poco brillo, rasposa al tacto y presenta aroma a materia orgánica.	No presenta un daño significativo, lo cual indica una mayor cohesión.	Suave: Plasticidad media	Corto: plasticidad mediana	Lenta: Ligeramente plástica	Arena:16.67% Limo:33.33% Arcilla:50.00%	Resistente: Alta plasticidad	Limo-Arenosa, arcillo-limosa, areno-arcillosa, arcillosa, limosa.	posible usar para la tierra compactada o ladrillo prensado, con aglomerante.
VA1	Por tamaño de partículas: predomina la arcilla con 50%, los limos 40% Presenta un color oscuro, poco brillo, suave al tacto y presenta aroma a materia orgánica.	No presenta un daño significativo, lo cual indica una mayor cohesión.	Suave: Plasticidad media	Corto: plasticidad mediana	Lenta: Ligeramente plástica	Arena:21.67% Limo:40.00% Arcilla:38.33%	Resistente: Alta plasticidad	Arcillo-Limosa, arcillosa, Limo arcillosa.	Posible usar para fabricación de adobe con adición de fibras y embarrado de técnicas mixtas

Nota. Tomada de Chávez, Moreno, Castellanos, Navarro, García & Arceo, 2022, Caracterización de los suelos del estado de Colima para la construcción con tierra.

Eje Neovolcánico para las cuatro muestras FC (Fraccionamiento Carrizalillos), FZ (Fraccionamiento Zona Mágica), CUH (Cuauhtémoc) limos y arcillas (limo-arcilloso) entre el 75 y 92% siendo mayor la cantidad de arcilla, ideal para utilizarla en sistemas de tierra compactada, sin embargo para ladrillos es necesario agregar algún tipo de aglomerante, mientras que para Va2 (Villa de Álvarez 2) con un 92% siendo mayor la cantidad de limos, ideal para la fabricación de ladrillos prensados, adobe y tierra compactada, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.

Tabla de los resultados, tipología de suelos Eje Neovolcánico.

EJE NEOVOLCÁNICO									
Muestra	T1-Tacto visual	T-2 Test de la Caída de la bola	T-3 Teste del cordón	T4.-Test de la cinta de barro	T5.-Test de exudación.	T6.-Test de la botella	T-7 Test de resistencia seca	Clasificación según muestras	Técnica recomendada
FC	Por tamaño de partículas: predomina la arcilla con 40%, los limos 40% Presenta un color oscuro, poco brillo, suabe al tacto y presenta aroma a materia orgánica.	No presenta un daño significativo, lo cual indica una mayor cohesión.	Frágil: Baja plasticidad.	Corto: plasticidad mediana	Rápida: Poca plasticidad	Arena:15.00% Limo:51.67% Arcilla:33.33%	Resistencia media	Limo- arcillosos, areno-arcilloso, arcilloso.	Posible usar para la tierra compactada o ladrillo prensado, con aglomerante
FZ	Por tamaño de partículas: predomina la arcilla con 45%, los limos 40% Presenta un color oscuro, poco brillo, suabe al tacto y presenta aroma a materia orgánica.	Se esparce después de la caída.	Frágil: Baja plasticidad.	Corto: plasticidad mediana	Lenta: Ligeramente plástica.	Arena:25.00% Limo:41.67% Arcilla:33.33%	No resiste: Falta de Cohesión	Arcillo-Limoso, areno-arcilloso, limo-arcilloso.	Posible usar para la tierra compactada o ladrillo prensado, con aglomerante
CUH	Por tamaño de partículas: predomina la arcilla con 40%, los limos 30% Presenta un color claro, poco brillo, suabe al tacto y presenta poco aroma a materia orgánica.	No presenta un daño significativo, lo cual indica una mayor cohesión.	Frágil: Baja plasticidad.	Corto: plasticidad mediana	Lenta: Ligeramente plástica.	Arena:8.33% Limo:41.67% Arcilla:50.00%	No resiste: Falta de Cohesión	Limo- arcillosos, areno-arcilloso, arenoso, arcilloso.	Utilización más difícil que las tierras anteriores, más posible con el uso de aglomerante.
VA2	Por tamaño de partículas: predomina la arcilla con 30%, los limos 40%. Presenta un color claro, poco brillo, rasposo al tacto y presenta poco aroma a materia orgánica.	No presenta un daño significativo, lo cual indica una mayor cohesión.	Suave: Plasticidad media	Corto: plasticidad mediana	Muy lenta: Alta plasticidad.	Arena:6.67% Limo:51.67% Arcilla:41.67%	Resistente: Alta plasticidad	Limo- arcillosos, areno-arcilloso, arcillosa.	Ladrillos prensados, adobe y tierra compactada

Nota. Tomada de Chávez, Moreno, Castellanos, Navarro, García & Arceo, 2022, Caracterización de los suelos del estado de Colima para la construcción con tierra.

Una vez seleccionado la muestra, se aplicaron los test de campo de acuerdo con la información de Chávez et al. (2022) y a Martins et al.(2009) , se tomó una muestra de 30 kilogramos del terreno de donde se obtuvo el material, se formó una especie de volcán y se dividió en cuatro secciones, tomando dos de ellas para realizar las pruebas, como se muestra en la figura 28.

Figura 28.*Muestra de tierra.*

El primer test aplicado fue el tacto visual (T1), el cual determina la cantidad partículas que compone al suelo, de manera manual, utilizando una maya de 0.02 cm, y un colador de cocina de 0.01 cm, se separaron las partículas por tamaños, lo más sencillo fue separar las piedras y la grava, el resto de material se sometió a un proceso de tamizaje. Las principales características identificaron fueron: textura rasposa al tacto, color claro con brillo, y el escaso aroma a materia vegetal, estableciendo que se trata de un material arenoso, en la figura 29, se observa la clasificación a simple vista, donde predomina la grava, arena y un material más fino, una combinación entre limo y arcilla.

Figura 29.

Test tacto visual.



El segundo test fue el de la caída de la bola (T2) el cual ayuda a identificar la cohesión del material, para ello se tomó una porción del material, se humedeció y se formó una bolita de tres centímetros de diámetro, se dejó caer al piso desde un metro de altura, el material se partió en dos, como se muestra en la figura 30, esto indica que el material tiene un alto contenido de arena y la propiedad de cohesión es baja.

Figura 30.

Test de la caída de la bola.



El tercer test aplicado fue el del cordón (T3), el cual determina la resistencia del material con una cantidad de humedad que permita maniobrar el material, el objetivo de este test es formar un cordón de tres milímetros de diámetro como se ve en la figura 31, sin embargo, en este caso no se pudo formar un dicho cordón, posteriormente se forma una bolita con el mismo material y se presiona entre los dedos, la cual se rompió fácilmente, estos resultados indicarán que el material es demasiado frágil con un alto contenido de limo o arena.

Figura 31.

Test del cordón.



El test de la cinta de barro (T4) mide la plasticidad de la tierra, aplicando la misma cantidad de humedad que al test del cordón, se formó un cilindro de nueve centímetros de largo por tres milímetros de espesor, se aplasta entre los dedos para formar una cinta lo más largo posible, sin embargo, esta no se pudo formar, lo cual indica que la plasticidad del material es mínima y el contenido de limo o arena es alto, como se muestra en la figura 32.

Figura 32.*Test de la cinta de barro.*

El test de la exudación (T5), sirve para determinar la plasticidad del material en función de la cantidad de agua que se aplique, se tomó una muestra del material y se le aplicó bastante cantidad de agua, luego se colocó sobre la palma de la mano y con la otra se dieron golpes como se muestra en la figura 33, se observó que la humedad apareció fluidamente después de los veinte golpes, lo cual indica que el material es ligeramente plástico limo-arcilloso.

Figura 33.*Test de la exudación.*

El test de la botella (T6), analiza el contenido de limos, arena y arcilla en el material, para ello se tomó una botella de vidrio y se coloca una sexta parte del material, se agrega una cucharada de sal y se llenó el resto con agua, se agita y se dejó reposar durante una hora, pasado el lapso de tiempo se repite el procedimiento, pero esta vez se deja reposando durante

24 horas. De esta manera se identificó que la cantidad de limos y arenas es superior al resto del material, como se observa en la figura 34.

Figura 34.

Test de la botella o sedimentación.



Finalmente se aplicó el test de la resistencia seca (T7), se tomó una porción del material, se agrega humedad y se forman tres pastillas de tres centímetros de diámetro por un centímetro de espesor, se dejaron secar durante 48 horas, pasado este lapso de tiempo se intentaron romper con los dedos, lo cual resultó muy fácil, determinado que la resistencia es poca, ya que el suelo es arenoso o limoso, como se muestra en la figura 35.

Figura 35.*Test de la resistencia seca*

Una vez aplicados los test de campo se determinó que el material es areno-limoso, por lo tanto, se optó por mezclarlo con un material arcilloso, el cual ya se había identificado gracias a la “Caracterización de los suelos del estado de Colima para la construcción con tierra mediante pruebas de campo” Chávez. et al (2022), tomado de la prueba VA1, el cual tiene una composición arcillosa.

3.5.2 Caracterización del Bambú

Las principales características al momento de seleccionar el bambú fueron; la edad de madurez de la planta, que de acuerdo con López (1981) es a partir de los tres años de edad, sin embargo la información obtenida de los manuales del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO, 2014), de Morán, (2015) y la publicación de SEMARNAT (Ordóñez , n.d.), refiere a que las plantas ideales para la construcción es a partir de los cuatro años.

La segunda característica es el proceso de corte y curado del material, ya que este es uno de los principales factores para garantizar la durabilidad de las piezas, la tercera característica es el estado físico; es decir que, sea una vara recta, sin curvas prominentes, otra,

la cuarta es que esté libre de afectaciones por agentes externos como hongos e insectos, y por último que no cuente con fracturas.

En Colima podemos encontrar algunas plantaciones de bambú en la comunidad del Remudadero, Comala, de acuerdo con Guevara, Moreno & Arceo (2016) existen aproximadamente 40 hectáreas de bambú de la especie *Guadua Angustifolia*, en la siguiente figura 36, propuesta por los autores antes mencionados, se muestra la relación con la edad y tamaño del culmo, a partir de ahí se seleccionaron los que están “maduros” después de los cuatro años de edad, ya que es la ideal para ser utilizado en la construcción, debido a sus propiedades físicas y estructurales, es por eso que se utilizó bambú de entre 4 años de edad con un promedio de altura 2.50 metros y un diámetro 0.10 metros.

Figura 36.

Especificaciones del bambú dentro del estado.

Año	Alturas			Diámetros		
	< (m)	Prom. (m)	> (m)	< (cm)	Prom. (cm)	> (cm)
1	1.2	1.4	1.6	3	3.5	4
3	5	6	7	4	5	6
6	12	13.5	15	9	10.5	12
8	15	16.5	18	10	14	18

Nota: Recuperado de Guevara et al., 2016.

3.5.3 Diseño del Molde para Tapia

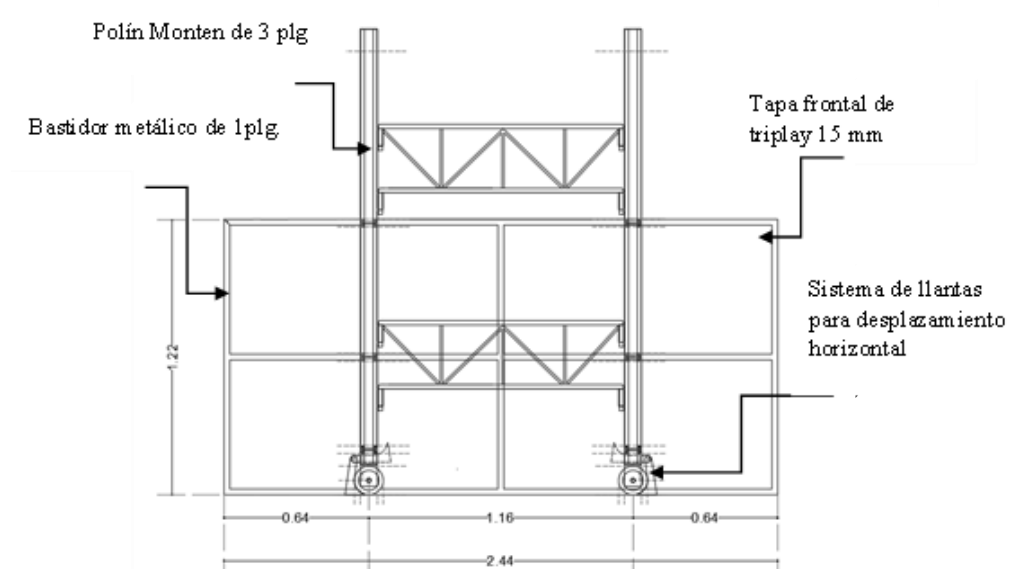
Se realizó una propuesta de molde tapialero específico para la construcción de los muros, con base al prototipo experimental de Chávez, Moreno, Navarro & Robles, (2021), el molde debe ser fácil de transportar, ligero, económico, duradero, con la capacidad de ser deslizable, tanto

horizontal como verticalmente para agilizar los tiempos de construcción de una vivienda con tapial.

Las dimensiones del molde son 2.44 m de largo por 1.22 m de alto, al deslizarse de manera vertical podrá alcanzar una altura de 3.00 m, los materiales propuestos para su fabricación son: para la armadura y los postes verticales tubulares metálicos de PTR liguero, tornillos, llantas de plástico, dos hojas de triplay de 15 mm, en la figura 37, se observa el croquis de la propuesta.

Figura 37.

Diseño del tapial deslizante.



Nota. Tomado de Chávez et al. 2020. Diseño de un tapial portátil, deslizante y de bajo costo. Ciencias e ingenierías: de la investigación a la innovación.

Una vez finalizada la fase conceptual, se realizó una maqueta a escala 1:20 del molde, donde se observan sus componentes y el mecanismo para el funcionamiento del mismo como se ve en la figura 38.

Figura 38.*Maqueta a escala de la tapia.*

Nota. Tomado de Chávez et al. 2020. Diseño de un tapial portátil, deslizable y de bajo costo. Ciencias e ingenierías: de la investigación a la innovación.

La maqueta fue sometida a pruebas de funcionamiento, donde se realizó el procedimiento para un muro de tapial, vertiendo tierra de la muestra VA1, humedecida y compactada hasta alcanzar la altura equivalente a los 2.44 m en escala 1:20, como se puede observar en la figura 39.

Figura 39.*Maqueta experimental en funcionamiento.*

Nota. Tomado de Chávez et al. 2020. Diseño de un tapial portátil, deslizable y de bajo costo. Ciencias e ingenierías: de la investigación a la innovación.

Se analizo y comparo el costo de un molde tradicional de madera que tiene un importe aproximado de \$2,170 pesos mexicanos, y un molde totalmente metálico que en el mercado se renta aproximadamente en \$8, 323 a la venta por modulo (Chávez, et al, 2021, p.278.), sin embargo los panoramas para ambos son los siguientes; el molde tradicional de madera tiene una durabilidad baja, así como las maniobras en montar y desmontar son muy lentas, comparativamente con los moldes metálicos del mercado son más duraderos, pero su maniobra requiere de equipos, mano de obra y mantenimiento especializados, aumentando el costo de operación significativamente.

En contraparte la fabricación del molde propuesto tiene un costo de \$14,427.20 pesos mexicanos, como se observa en la figura 40, y tiene como ventajas la facilidad tanto en su maniobra dentro del proceso constructivo ya que se puede desplazar vertical y horizontalmente sin tener que descomponerlo en más piezas y armarlo de nuevo, además de que al contar con piezas desmontables de proporciones apropiadas para el traslado de un lugar a otro en vehículo Pick Up.

Figura 40.

Costo por la fabricación de un tapial deslizable.

MATERIAL	CANTIDAD	PU	TOTAL
Polín Monten estructural de 3" Calibre 14	3	\$ 389.50	\$1,168.50
PTR de 1"	5	\$ 357.60	\$1,788.00
Redondo de 3/8"	2	\$ 69.00	\$138.00
Triplay de 15 mm	3	\$ 470.00	\$1,410.00
Riel 1500	3	\$ 561.50	\$1,684.50
Balero de 34" mm de diámetro	12	\$ 50.60	\$607.20
Esparrago de 3/4"	2	\$ 315.50	\$631.00
Mano de obra	1	\$7,000.00	\$7,000.00
		TOTAL	\$14,427.20

Nota. Tomado de Chávez et al. 2020. Diseño de un tapial portátil, deslizable y de bajo costo. Ciencias e ingenierías: de la investigación a la innovación.

Sin embargo, para fines de la investigación se optó por replicar el prototipo propuesto por Chávez et al. (2021) con algunas modificaciones, ya que el costo de fabricación es elevado para esta etapa de carácter exploratoria y experimental de los muros, quedando como alternativa para futuras investigaciones. En la figura 41, se observa el proceso de fabricación del molde compuesto por dos tapas de 2.44 m de largo, 1.44 m de altura, formadas a partir de una estructura de marco rígido de acero, forjado con un ángulo de 1 ½ x 3/16 de pulgada, sobre el cual se montaron dos tramos de PTR ligero C-14-Azul que dan rigidez y a la vez sujetan ambas tapas, así como dos tornillos tipo gusano de un extremo al otro y una hoja de triplay de 15mm.

Figura 41.

Proceso de fabricación del tapial.



Para las tapas de los extremos, se optó por dos propuestas; la primera con una lámina en forma de V para los muros en “T” y formar el machihembrado de ambos y la otra tapa de madera, ambas con una dimensión de 0.4 m de largo por 1.22 m de altura, en la figura 42, se observa el molde finalizado.

Figura 42.

Proceso de fabricación del tapial.



3.5.4 Herramientas para la Construcción de los Muros

Las herramientas utilizadas para la construcción de los muros fueron las siguientes:

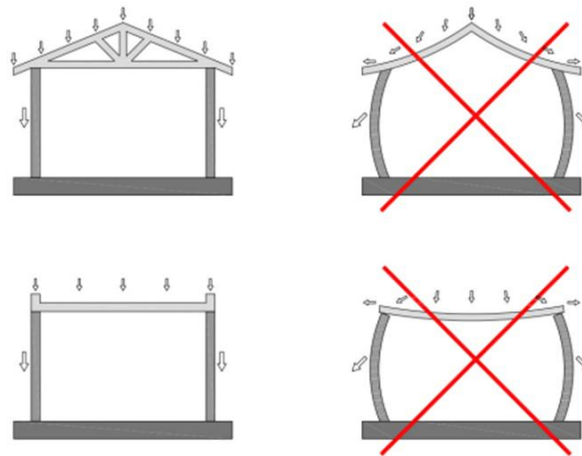
- Carretillas
- Cinta métrica
- Cubetas
- Martillo
- Maya para cernir la tierra.
- Molde tapialero o tapial
- Niveleta
- Pala
- Pinzas
- Pisones metálicos
- Serrucho

3.5.5 Diseño del Sistema Constructivo de Tapia

De acuerdo con Vieira, Negrini, Falleiros (2011), la tapia se considera como un elemento estructural construido en el sitio, con alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tracción, por lo tanto se deben de considerar los momentos de la torsión y la flexión en los muros, La resultante de las fuerzas en las paredes de tapia siempre debe ser perpendicular a la superficie resistente, es por ello que se deben de evitar que los muros reciban cargas horizontales, en la figura 43, se puede observar un esquema de la distribución de las cargas en los muros.

Figura 43.

Cargas admisibles en los muros de tapia.



Nota. Tomado de Vieira, Negrini, Falleiros, 2011.

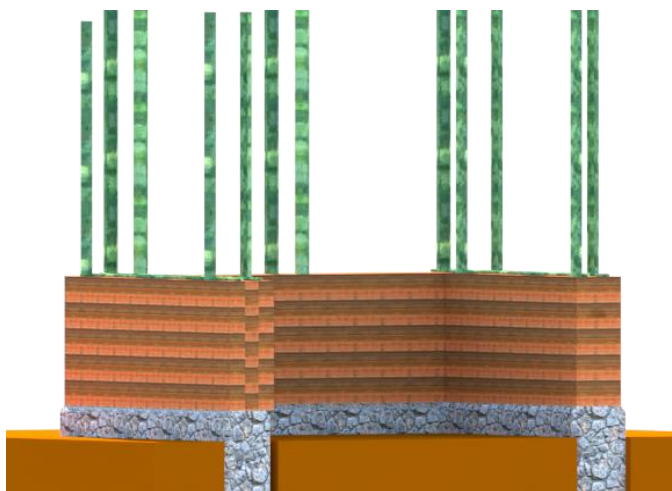
Rauch & Kapfing (2001), Bauluz, & Bárcena (1992) y Font & Hidalgo (2010) concuerdan con que la tapia tiene una Presión de 3-4 N/mm². Mientras que Magaña (2020) al realizar un análisis de resistencia en los bloques de tierra, obteniendo como resultado una resistencia de 45.92 kn (4.59 N/mm²), para los bloques de cal y tierra, la resistencia fue de 16.59 kn, (1.65 N/mm²) y para los bloques de tierra, cal y fibra es de 19.98 kn (1.99 N/mm²).

Minke (2001), propone una estabilización de la estructura por la forma de la planta, en formas regulares, es decir en configuraciones de L, T, U, X, Y o Z. Además, se debe tomar en cuenta que las fuerzas perpendiculares a los muros se transfieren paralelamente, y estas fuerzas se concentran en las esquinas de los ángulos las cuales son propensas a abrirse. Mientras que la norma peruana E.80 recomienda que los muros sean anchos para una mejor resistencia y estabilidad, con un espesor mínimo de 0.40 m, además de contar con refuerzos horizontales y verticales, se propone que las plantas sean simétricas.

A partir de la información anterior se diseñó un módulo experimental con una forma regular en planta de configuración en “U” la cual consta de tres muros de 2.44 m de largo, por 1.22 m de altura y un espesor de 0.40 m siguiendo las recomendaciones de la norma E.80, desplantados sobre un cimiento de concreto ciclópeo de 0.40 m de altura y 0.60 m de base. La estructura consta de dos bambús cortados por mitad y colocados paralelamente a 1.77 m de separación, y dos refuerzos horizontales de otate al centro de los muros, vertiendo tierra humedecida dentro del molde en capas de 0.15 ya apisonada, como se observa en la figura 44.

Figura 44.

Modelo del módulo experimental de tapia.



3.5.6 Diseño de los Muros

Para su diseño se tomó como referencia la investigación realizada por Magaña (2021) la cual se denomina “Mejoramiento del adobe, integrando óxido de calcio y fibra de coco”, con la finalidad de conocer de manera exploratoria el comportamiento considerando una escala mayor.

Muro “A” 100% Tierra compactada.

Por lo tanto, el muro experimental tipo “A” representa un volumen de 1.19 m³, como se observa en la tabla 6, el volumen total es multiplicado por el factor de abundamiento (Fa) del material, en el caso de la tierra es de 1.37, por lo que fue necesario ajustar el volumen a 1.63 m³ de tierra. La unidad de medida normalmente utilizada para la definición de proporciones fue en botes de 18 L, por lo que los 1.63 m³ se traducen como 90 botes.

Tabla 6.

Materiales y volumen de material para el muro A.

Muro “A” 100% Tierra compactada					
L	B	H	M3	Fa	Fa*M3
2.44	0.40	1.22	1.19	1.37	1.63

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022, tomando como referencia a Magañas 2021.

Muro “B” 80% tierra compactada y 20% de cal.

El muro “B”, se compone de 80% de tierra y 20% de cal, que representa al tratamiento E1 de Magaña (2021), el volumen del muro es de 1.19 m³, aplicando el factor de abundamiento y del porcentaje establecido (80%), nos resulta un volumen de 1.24 m³, que expresado en botes de 18 L corresponde a 69 botes, para calcular la cantidad de cal requerida se consideró que por cada decímetro cubico se consumió 0.148 kg/L, al aplicar el porcentaje al volumen requerido se obtiene 238 L y al multiplicarlo por el peso unitario se obtiene como resultado 35.41 kg correspondiente a 20%, ver en a tabla 7.

Tabla 7.

Materiales y volumen de material para el muro B.

Muro "B" 80%Tierra-20% Agregados (100% de cal)						
L	B	H	M3	Fa	Fa*M3	Cal kg
2.44	0.40	1.22	1.19	1.30	1.24	35.41

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022, tomando como referencia a Magaña 2021.

Muro "C" 60% tierra, 32% de cal y 8% de fibra de coco.

Para esta tapia se tomó el tratamiento D2 de Magaña (2021), donde del 100%, el 60% es tierra y el 40% son agregados, estos agregados son cal y fibra de coco, siendo 32% y 8% respectivamente. Es por eso que para obtener el volumen de materiales a emplear para el muro, se realizaron los siguientes cálculos, a partir del volumen del muro de 1.19 m³, aplicando el factor de abundamiento y del porcentaje establecido (60%), nos resulta un volumen de 0.92 m³, que expresado en botes de 18 L corresponde a 52 botes, para calcular la cantidad de cal requerida se consideró que por cada decímetro cubico se consumió 0.238 kg/L, al aplicar el porcentaje al volumen requerido se obtiene 381L y al multiplicarlo por el peso unitario se obtiene como resultado 91 kg correspondiente a 32%. El tercer elemento que forma parte de la mezcla diseñada corresponde al 8% del volumen que corresponde a 95 L, el cual al multiplicarse por su peso unitario 0.014 kg/L se obtiene como resultado 1.40 kg de fibra de coco. Ver en la tabla 8.

Tabla 8.

Materiales y volumen de material para el muro C.

Muro "C" 60% tierra, 32% de cal y 8% de fibra de coco.							
L	B	H	M3	Fa	Fa*M3	Cal kg	Coco kg
2.44	0.40	1.22	0.71	1.30	0.92	91.00	1.40

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022, tomando como referencia a Magaña 2021.

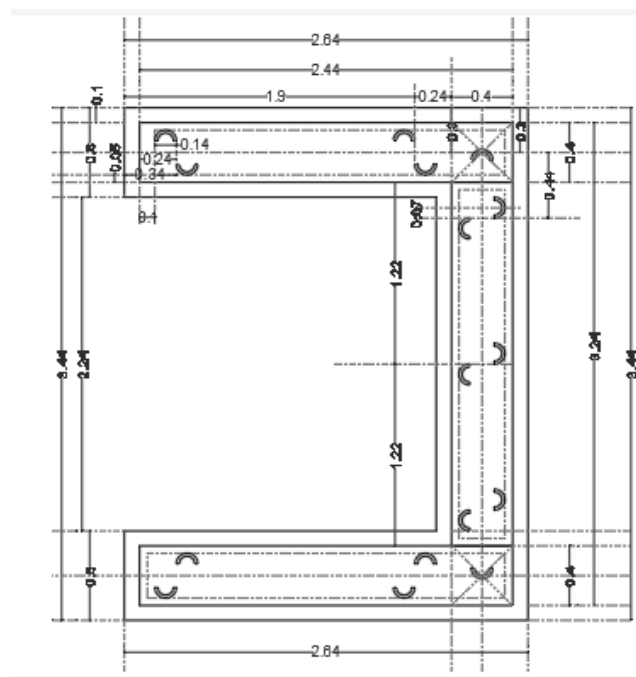
3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

3.6.1 Proceso de Construcción del Módulo Experimental de Tapia

El módulo está compuesto por tres elementos en forma de “U”, su cimentación debido a que el terreno donde se realizaron los tapias se encuentra en áreas protegidas por el INAH dentro de las instalaciones del TecNM, y a que no fue posible realizar excavaciones, se realizó superficialmente siguiendo la recomendación de dejar expuesto 0.40 m a partir del nivel del suelo. En el plano de cimentación que se presenta la figura 45, se observa que las medidas de los cimientos laterales son de 2.64 m de largo, por 0.60 m de ancho, mientras que el cimiento central corresponde a una medida de 3.44 m.

Figura 45.

Plano del módulo experimental.



Posteriormente se realizó el trazo y nivelación sobre el terreno, para ello se limpió el área, como se muestra en la figura 46, cabe mencionar que el espacio asignado para la construcción

del módulo estaba libre de monte, árboles o residuos que impidieran la correcta ejecución de este trabajo.

Figura 46.

Limpieza del terreno.



El siguiente paso fue tomar una referencia, colocar una estaca y el hilo para sacar la escuadra con un ángulo de 90° , las medidas de los lados; 1.60 m de un cateto y 1.20 m para el otro, por lo tanto, la diagonal que se forma es de 2.00 m, este fue el procedimiento para trazar la escuadra. Se realizó el trazo de los ejes, tal como se muestra en la figura 47. Para ellos se tomaron las medidas de referencia establecidas en el plano y se marcaron los ejes de la cimentación con cal.

Figura 47.

Trazo del módulo de tapia.



Se fabrico la cimbra para el cimiento, el cual consta de tablas sujetas con fajillas de madera, que en total suman 0.40 m de altura, y una tapa de 0.60 m de ancho por 0.40 m de altura, además se colocaron travesaños de madera para sujetar ambas caras y obtener una mejor rigidez, en la figura 48, se muestra el proceso de fabricación de la cimbra.

Figura 48.

Fabricación de la cimbra.



Se colocó la cimbra de madera, se recubrió con una mezcla de aceite quemado y diesel evitar que la mezcla se adhiera a la superficie y sea difícil de retirar, con ayuda de una botella de plástico y un trozo de papel se espacio perfectamente sobre toda el área, como se muestra en la figura 49.

Figura 49.

Colocación de desmoldante a la cimbra (aceite quemado y diesel).



El proceso de la cimentación se dividió en tres días, ya que solo se contaba con una cimbra y se tuvo que dejar un lapso de tiempo para retirarla, una vez colocada y nivelada la cimbra perfectamente en su sitio se preparó la mezcla de mortero con cemento-arena proporción 1:6, como se ve en la figura 50, para ellos se colocó una hoja de triplay, con la finalidad de evitar la contaminación de la mezcla con el material existente en el suelo.

Figura 50.

Elaboración de la mezcla para la cimentación.



Una vez obtenida la consistencia adecuada, se humedeció con suficiente agua la superficie de suelo dentro de la cimbra, se colocó una capa de mezcla y una de piedras, al igual que los bambúes con a la separación indicada en los planos, cada uno de ellos se anclaron a la cimentación colocando piedras estratégicamente para su correcta sujeción, como se ve en la figura 51.

Figura 51.

Construcción de la cimentación.



Una vez ubicados las piezas de bambú dentro de la cimentación, se continuo con el proceso, una capa de mezcla y una de piedras acomodándolas hasta llegar el nivel de 0.40 m de altura como se ve en la figura 52.

Figura 52.

Colocación de las piezas de bambú.



Una vez concluida la etapa de la cimentación, se colocó el molde, el cual se niveló y ajustó de acuerdo a las especificaciones del diseño de los muros, en la figura 53, se observa como este se desplanta sobre el nivel de la cimentación, antes de comenzar la construcción del primer muro, en este caso el "A", de 100% de tierra compactada.

Figura 53.

Molde de tapial sobre la cimentación.



A las caras del molde tapialero o tapial, se le aplicó una capa de aceite quemado mezclado con diesel, utilizando el mismo procedimiento para la cimbra de la cimentación, esto para evitar que la tierra quede adherida a las caras, así como se muestra en la figura 54.

Figura 54.*Aplicación de diesel al tapial.*

Para la construcción del muro “A” se dividieron en porciones de treinta botes por mezcla, para poder manipular la tierra, esta se sometió a un proceso de tamizaje para separar las piedras que excedían el tamaño de 3/8 de pulgada, como se observa en la figura 55, cabe mencionar que el material seleccionado para construcción tiene mayor contenido de arena, se agregó un 33% de arcilla, es decir, por cada dos botes de tierra arenosa, se agregó un bote de tierra arcillosa.

Figura 55.*Proceso de tamizaje de la tierra.*

Una vez finalizada la mezcla, se inició con la primera capa de 0.20 m, la cual se compacto hasta llegar a los 0.15 m aproximadamente, con ayuda de los pisones metálicos y uno de madera para llegar los espacios complicados entre el bambú y la cimbra, como se muestra en la figura 56, la técnica para apisonar es dejarlo caer desde una altura considerada para que la tierra se compacte correctamente.

Figura 56.

Proceso de compactación.



Es importante cuidar que entre cada capa la compactación sea la adecuada antes de verter el material. Una vez finalizada la compactación de una capa, se debe apreciar una superficie lisa, sin material apilado en una zona, se debe ver como se muestra en la figura 57.

Figura 57.

Proceso de compactación.



Alcanzados los 0.60 m de nivel dentro del muro, se colocaron dos tramos de otate de manera horizontal, de extremo a extremo, con la finalidad de agregar un refuerzo central como se ve en la figura 58. Una vez terminado el muro, se retiró la cimbra y se colocó en la siguiente sección, la cual pertenece al muro “C” de tierra y cal.

Figura 58.

Refuerzo de otate.



Nuevamente la mezcla se dividió en porciones de 28 botes de tierra, la cal necesaria para esta porción fue de medio sacos, 12 kg aproximadamente, ya que para este muro corresponden 35.41 kilogramos, se removió el material hasta conseguir una mezcla homogénea y se agregó agua para humedecerla correctamente. Este proceso se repitió hasta llegar al nivel de compactación requerido, como se muestra en la figura 59.

Figura 59.

Proceso de la mezcla para los muros de cal.



El proceso para la compactación fue el mismo para el muro “A”, se vertieron capas de tierra de 0.20 m y se compacto hasta llegar al 0.15 m, cuidando la técnica para este proceso esperando que las capas se solidificaran correctamente y no quedara material suelto, en la figura 61 se muestra el proceso de compactación del muro B. Una vez finalizado el muro se retiró la cimbra y se colocó en el siguiente, como se muestra en la figura 60.

Figura 60.*Proceso de compactación para el muro B.*

Para la mezcla del muro “C” se siguió el mismo procedimiento, separar las mezclas por porciones de 28 botes, la cantidad agregada de cal por cada porción fue de 30 kg, que en este caso se necesitaron 90 kilogramos (para todo el muro) y el 1.40 kg de fibra de coco para todo el muro, de tal manera que para porción fueron alrededor de medio kilogramo, se mezclaron hasta integrarlos homogéneamente (Fig. 61) y posteriormente se agregó agua, se mezcló nuevamente hasta obtener la humedad requerida.

Figura 61.*Mezcla tierra, fibra de coco, cal.*

3.6.2 Guía para la evaluación de los cambios físicos de los muros.

Una vez terminados los muros, se evaluarán mediante una guía diseñada para verificar el estado físico de estos, los cuatro factores importantes son:

1.- Presencia de grietas, debido a: localización superficial, ubicación del refuerzo de bambú, mala compactación, calidad y humedad del material.

2.- Desprendidos de material en algunas zonas: debido a: proceso de desmote del tapial, determinar si es solo estético o por una falla estructural.



3.- Correcta compactación del material, si las capas son uniformes, calidad y humedad del material, ejecución de la compactación.

4.-Fraguado de la mezcla, cantidad de humedad proporcionada al material previo y en el momento de su realización, tiempo de descimbrado.

La guía se compone de cuatro apartados, antecedentes; lugar, fecha, el tipo de muros y una descripción general del sistema constructivo, así como los datos básicos del muro, el seguro es la evaluación del estado físico, donde se en listan los cuatro aspectos planteados anteriormente, los cuales serán analizados y descritos en el espacio destinado para ello. El tercero describe el procedido para la construcción del muro y finalmente el cuarto aborda el tema de las porciones de material utilizadas para la edificación del muro, como se muestra en la figura 62.

Figura 62.


Guía para la evolución del estado físico de los muros.


 		
Lugar:	Muro:	
Fecha:		
Descripción general.		
<p>La tapia consiste en rellenar un encofrado de madera compuesto por dos tablonces separados a una distancia igual al espesor normal de los muros de piedra, el material se vierte en capas de tierra humedecida de 10 a 15 centímetros y se apisonan de manera uniforme, con pisón de madera.</p>		
Datos básicos.		
Evaluación del estado físico.		
Presencia de grietas <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Localización superficial	
	Ubicación del refuerzo de bambú	
	Mala compactación	
	Calidad y humedad del material.	
Desprendidos de material en algunas zonas <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Estético	
	Estructural	
	Proceso de desmonte del tapial	
Correcta compactación del material <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Capas uniforme	
	Calidad del material	
	Humedad del material	
	Ejecución de la compactación	
Fraguado de la mezcla	Cantidad de humedad proporcionada al material	
	Tiempo de descimbrado.	
Procedimiento (descripción general)		
Medición y cálculo		

El procedido para aplicar la guía fue mediante la observación y análisis de cada paramento, posteriormente se llenaron los campos destinados a los resultados de cada uno, auxiliado con material gráfico, en este caso fotografías de los mismos, en la tabla 9, se presenta la guía correspondiente al muro A.

Tabla 9.

Evaluación del estado físico del muro A.

		
Lugar: TecNM		Muro: Tipo A.
Fecha: mayo 2022		
Descripción general.		
<p>La tapia consiste en rellenar un encofrado de madera compuesto por dos tablonces separados a una distancia igual al espesor normal de los muros de piedra, el material se vierte en capas de tierra humedecida de 10 a 15 centímetros y se apisonan de manera uniforme, con pisón de madera.</p>		
Datos básicos.		
Muro de 100% tierra areno-limosa con un contenido de grava y arcilla compactada.		
Evaluación del estado físico.		
Presencia de grietas <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	Localización superficial	Se localizan en toda la superficie del muro, en disposición vertical, diagonal y horizontal, ver figura 63.
	Ubicación del refuerzo de bambú	En todos los refuerzos con bambú se generaron grietas, verticales, algunos son simplemente

<p>Con espesores desde los 0.2 cm hasta los 7</p>		estético, pero en otros la grita tiene una dimensión mayor, alcanzando los 7 cm, ver figura 64.
	Mala compactación	Entre el muro y el molde, genero grietas en la zona del refuerzo de bambú, ya que se dificultaron las maniobras. Ver figura 65.
	Calidad y humedad del material.	Se tomó como referencia la humedad recomendada en la literatura, sin embargo, rápido se observó la evaporación de la misma.
<p>Desprendimiento de material</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-right: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">NO</div> </div>	Estético	Se desprendió en la base del muro, en las esquinas y en la cara exterior, además, se encontró la presencia de material vegetal, como semillas de parota que al germinar provocaron el desprendimiento, ver figura 66.
	Estructural	Se presentó el desprendimiento de material en la zona colindante al bambú, lo cual representa una falla estructural al no existir la adherencia adecuada entre los ambos elementos, ver figura 67.
	Proceso de desmonte del tapial	Debido a la calidez del molde, ya que este no se fabricó con las especificaciones requeridas, ya que al momento de retirarlo dañó la base del muro, desprendiendo una capa de tierra.
<p>Correcta compactación del material</p>	Capas uniformes	Las capas tienen una dimensión similar, gran parte del muro, y se puede observar una correcta compactación, a excepción de las zonas donde se localizan los refuerzos de bambú. Ver figura 68.

	Calidad del material	El material limo-arenoso con un cierto contenido de grava y arcilla favorece a la correcta compactación de las capas.
	Humedad del material	Se aplicó la humedad de acuerdo a la literatura entre el 10-15%, sin embargo, esta se evaporó muy rápido después de descimbrar los muros, favorece a la compactación es un estado seco.
	Ejecución de la compactación	Se cuidó que la caída del pisón fuera estándar, aplicando la misma altura y fuerza, por lo tanto, las capas internas se ven con la adecuada compactación, sin embargo, las zonas de los bambúes son las más afectadas al no existir una correcta ejecución de las maniobras, ver figura 69.
Fraguado de la mezcla	Cantidad de humedad proporcionada al material	La humedad aplicada fue la indicada por la literatura, pero esta se evaporó rápidamente una vez desmoldado el muro.
	Tiempo de descimbrado.	El mismo día que se descimbó el molde, provocando que el material aún no adquiriera el fraguado adecuado.
Procedimiento (descripción general)		
<p>El muro experimental tipo "A" representa un volumen de 1.19 m³, el volumen total es multiplicado por el factor de abundamiento (Fa) del material, en el caso de la tierra es de 1.37, por lo que fue necesario ajustar el volumen a 1.63 m³ de tierra. La unidad de medida</p>		

normalmente utilizada para la definición de proporciones fue en botes de 18 L, por lo que los 1.63 m³ se traducen como 90 botes.

Medición y cálculo

Muro "A" 100% Tierra compactada					
L	B	H	M3	Fa	Fa*M3
2.44	0.40	1.22	1.19	1.37	1.63

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

En la siguiente sección se presentan las evidencias fotográficas del muro A, las cuales se hacen referencia en la guía de acuerdo a cada uno de los parámetros analizados mediante la observación.

Figura 63.

Presencia de grietas en el muro "A".



Figura 64.

Grieta de 7 cm en refuerzo de bambú.



Figura 65.

Grieta por mala compactación.



Figura 66.

Desprendimiento de material.



Figura 67.

Desprendimiento de material por falla estructural.



Figura 68.

Capas uniformes de compactación.



Figura 69.


Descimbrado del muro A.






Para el muro B, sucede lo mismo se aplicó la guía una vez retirada la cimbra haciendo el análisis de cada aspecto mediante la observación, posteriormente se llenaron los campos correspondientes a los resultados de cada uno, auxiliado de fotografías, a continuación, en la tabla 10, se presenta la guía correspondiente al muro B.

Tabla 10.

Evaluación del estado físico del muro B.

		
Lugar: TecNM		Muro: Tipo B.
Fecha: mayo 2022		
Descripción general.		
La tapia consiste en rellenar un encofrado de madera compuesto por dos tablonces separados a una distancia igual al espesor normal de los muros de piedra, el material se vierte en capas de tierra humedecida de 10 a 15 centímetros y se apisonan de manera uniforme, con pisón de madera.		
Datos básicos.		
Muro de 80% tierra areno-limosa con un contenido de grava y arcilla compactada y un agregado de Cal al 20%.		
Evaluación del estado físico.		
	Localización superficial	Se localizan en toda la superficie del muro, en disposición vertical y horizontal. Ver figura 70.

<p>Presencia de grietas</p> <p>Con espesores desde los 0.2 cm hasta los 0.5 cm.</p>	Ubicación del refuerzo de bambú	En todos los refuerzan con bambú se generaron grietas verticales, generado un mal aspecto estético, no representan un daño estructural, se generaron por la mala compactación en esa área, pero también por una tendencia al agrietamiento de la misma tierra. Ver figura 71.
	Mala compactación	Entre el muro y el molde, genero grietas en la zona del refuerzo de bambú, ya que se dificultaron las maniobras.
	Calidad y humedad del material.	Se aumentó la humedad en la mezcla, lo cual genero que la evaporación fuera más lenta una vez descimbrado el muro.
<p>Desprendimiento de material</p> <p> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> NO</p>	Estético	Se desprendió en la base del muro, en las esquinas por las maniobras para retirar la cimbra. Ver figura 72.
	Estructural	No se presentó desprendimiento de material por fallas estructurales.
	Proceso de desmonte del tapial	Debido a la calida del molde, ya que este no se fabricó con las especificaciones requeridas, ya que al momento de retirarlo daño la base del muro, desprendiendo una capa de tierra.
	Capas uniformes	Las capas tienen una dimensión similar, gran parte del muro, y se observa una correcta compactación,

<p>Correcta compactación del material</p>  		a excepción de las zonas donde se localizan los refuerzos de bambú.
	Calidad del material	El material limo-arenoso con un cierto contenido de grava y arcilla favorece a la correcta compactación de las capas.
	Humedad del material	Se aplicó un mayor porcentaje de humedad, sin embargo, esta dificultaba la compactación.
	Ejecución de la compactación	Se cuidó que la caída del pisón fuera estándar, aplicando la misma altura y fuerza, por lo tanto, las capas internas se ven con la adecuada compactación, sin embargo, las zonas de los bambúes son las más afectadas al no existir una correcta ejecución de las maniobras.
<p>Fraguado de la mezcla</p>	Cantidad de humedad proporcionada al material	Se aplicó un mayor contenido de con base a la reacción química de la cal con el agua hasta obtener una mezcla homogénea sin generar una mezcla plástica, pero mayor a la especificada en la literatura
	Tiempo de descimbrado.	La cimbra se retiró 24 horas después de terminado el muro, favoreciendo al fraguado del material, además la humedad se conservó por más tiempo. Ver figura 73.
<p>Procedimiento (descripción general)</p>		
<p>Se compone de 80% de tierra y 20% de cal, con un volumen de 1.24 m³, que expresado en botes de 18 L corresponde a 69 botes, para calcular la cantidad de cal requerida se consideró que por cada decímetro cúbico se consumió 0.148 kg/L, al aplicar el porcentaje al volumen</p>		

requerido se obtiene 238 L y al multiplicarlo por el peso unitario se obtiene como resultado 35.41 kg correspondiente a 20%.

Medición y cálculo

Muro "B" 80% Tierra-20% Agregados (100% de cal)						
L	B	H	M3	Fa	Fa*M3	Cal kg
2.44	0.40	1.22	1.19	1.30	1.24	35.41

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

A continuación, se presentan las evidencias fotográficas del muro B, las cuales se hacen referencia en la guía de acuerdo a cada uno de los parámetros analizados mediante la observación.

Figura 70.

Presencia de grietas superficiales.



Figura 71.

Presencia de grietas en refuerzo de bambú.



Figura 72.

Desprendimiento en la base del muro.



Figura 73.



Descimbrado del muro pasadas 24 horas.



Finalmente se aplicó la guía al muro C, aplicando el mismo procedimiento una vez retirada la cimbra, analizando cada aspecto mediante la observación, posteriormente se llenaron los campos correspondientes a los resultados de cada uno, auxiliado de fotografías, a continuación, en la tabla 11, se presenta la guía correspondiente al muro C.

Tabla 11.

Evaluación del estado físico del muro C.

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
Lugar: TecNM	Muro: Tipo C.
Fecha: mayo 2022	
Descripción general.	


La tapia consiste en rellenar un encofrado de madera compuesto por dos tablonces separados a una distancia igual al espesor normal de los muros de piedra, el material se vierte en capas de tierra humedecida de 10 a 15 centímetros y se apisonan de manera uniforme, con pisón de madera.

Datos básicos.

Muro de 60% tierra areno-limosa con un contenido de grava y arcilla compactada con agregados de 32% cal y 8 % fibra de coco.

Evaluación del estado físico.

<p>Presencia de grietas</p> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO </div> <p>Con espesores desde los 0.1 cm hasta los 0.3 cm.</p>	Localización superficial	Se localizan en toda la superficie del muro, en disposición vertical y horizontal. Ver figura 74.
	Ubicación del refuerzo de bambú	En todos los refuerzos con bambú se generaron grietas verticales, generado un mal aspecto estético, no representan un daño estructural, se generaron por la mala compactación en esa área, pero también por una tendencia al agrietamiento de la misma tierra 75.
	Mala compactación	Entre el muro y el molde, genero grietas en la zona del refuerzo de bambú, ya que se dificultaron las maniobras.
	Calidad y humedad del material.	Se aumentó la humedad en la mezcla, lo cual genero que la evaporación fuera más lenta una vez descimbrado el muro.
<p>Desprendimiento de material</p> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> NO </div>	Estético	Se desprendió en la base del muro y en las esquinas por las maniobras para retirar la cimbra.

	Estructural	No se presentó desprendimiento de material por fallas estructurales.
	Proceso de desmonte del tapial	Debido a la calidad del molde, ya que este no se fabricó con las especificaciones requeridas, ya que al momento de retirarlo dañó la base del muro, desprendiendo una capa de tierra.
<p>Correcta compactación del material</p> <div data-bbox="240 972 402 1035">  <input data-bbox="326 972 402 1035" type="checkbox"/> NO </div>	Capas uniformes	Las capas tienen una dimensión similar, sin embargo, en gran parte del muro se observa que la compactación no fue la adecuada, quedando zonas con mayor concentración de grava y fibra de coco, además de las zonas donde se localizan los refuerzos de bambú y no se logró una correcta ejecución de las maniobras.
Calidad del material	El material limo-arenoso con un cierto contenido de grava y arcilla favorece a la correcta compactación de las capas, además de la adición de cal y fibra de coco.	
Humedad del material	Se aplicó un mayor porcentaje de humedad, sin embargo, esta dificultaba la compactación.	
Ejecución de la compactación	Se cuidó que la caída del pisón fuera estándar, aplicando la misma altura y fuerza, sin embargo, aun así, se observan zonas donde no se compactó bien, quedando las capas con mayor concentración de fibra de coco y unas más con grava. Ver en figura 76.	

Fraguado de la mezcla	Cantidad de humedad proporcionada al material	Se aplicó un mayor contenido de con base a la reacción química de la cal con el agua hasta obtener una mezcla homogénea sin generar una mezcla plástica, pero mayor a la especificada en la literatura
	Tiempo de descimbrado.	La cimbra se retiró 48 horas después de terminado el muro, favoreciendo al fraguado del material, además la humedad se conservó por más tiempo. Ver figura 77.

Procedimiento (descripción general)

Se compone de 80% de tierra y 20% de cal, con un volumen de 1.24 m³, que expresado en botes de 18 L corresponde a 69 botes, para calcular la cantidad de cal requerida se consideró que por cada decímetro cúbico se consumió 0.148 kg/L, al aplicar el porcentaje al volumen requerido se obtiene 238 L y al multiplicarlo por el peso unitario se obtiene como resultado 35.41 kg correspondiente a 20%.

Medición y cálculo

Muro "B" 80% Tierra-20% Agregados (100% de cal)						
L	B	H	M3	Fa	Fa*M3	Cal kg
2.44	0.40	1.22	1.19	1.30	1.24	35.41

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

En el siguiente apartado se presentan las evidencias fotográficas del muro C, las cuales se hacen referencia en la guía de acuerdo a cada uno de los parámetros analizados mediante la observación.

Figura 74.

Presencia de grietas.



Figura 75.

Desprendimiento de material en la base.



Figura 76.

Compactación del material.



Figura 77.

Descimbrado del muro.



3.6.3 Análisis teórico del comportamiento térmico de los muros.

La conductividad térmica es una propiedad de los materiales que permite conducir el calor a través de él, esta se mide en W/mk (watts sobre metro kelvin). En el caso de la tierra como se muestra en la tabla 12, varía según la densidad seca del material, oscila entre 0,46 y 1,60 W/mk, según, Bauluz, y Bárcena, (1992); Walker; et. al (2005); como se citó en Bestraten et al., (2011). Sin embargo, Magaña (2022) en su investigación para la muestra de 100% tierra compactada el resultado fue de 0.43 W/mk, para el 80% tierra compactada, 32% cal y 8% fibra de coco es 0.23 W/mk, y finalmente para la el análisis de 80% tierra compactada, 20% cal, la resultante de conductividad es de 0.27 W/mk.

Tabla 12.

Datos de conductividad de la tierra.

Bibliografía	Descripción	Densidad	Conductividad
Bestraten et al., 2011	Muro de tierra compactada de 40 cm	1, 400-2,000 kg/m ³	0.60 al 1.60 W/mK
Magaña,2022.	100% tierra compactada	1,785 kg/m ³	0.43 W/mK
Magaña,2022.	80% tierra compactada, 20% cal.	1,394 kg/m ³	0.27 W/mK
Magaña,2022.	60% tierra compactada, 32% cal y 8% fibra de coco.	1,533 kg/m ³	0.23 W/mK

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

En el caso de los materiales convencionales utilizados para construcción, la conductividad se representa en la tabla 13, para el conceto armado la conductividad es de 2.3 W/mK, para el block convencional es de 0.91 W/mK mientras que para el ladrillo común es de 1.04 W/mK.

Tabla 13.

Datos de conductividad de materiales convencionales.

Bibliografía	Descripción	Densidad	Conductividad
Bestraten, et. al, 2011	Concreto armado	2,250 kg/m ³	2.3 W/mK
	Block convencional	2,777 kg/m ³	0.91 W/mK
	Ladrillo común	2,170 kg/m ³	1.04 W/mK

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

La transmisión de calor en la naturaleza sucede mediante tres procesos:

Conducción, es la transferencia de energía en forma de calor mediante el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, la transferencia sucede siempre que un cuerpo de mayor temperatura entra en contacto con uno de menor (Chi, 2021).

Convección, es el calor transmitido en moléculas de líquidos o gas, resultante del movimiento de las partículas cuando estas están a diferentes temperaturas (Chi, 2021).

Radiación, es la transmisión de energía de calor en cualquier superficie en forma de ondas electromagnéticas (Chi, 2021).

En nuestro estudio se corresponde a la transferencia de calor por conducción, por lo que, mediante la utilización de la ley de Fourier para la conducción del calor, la cual menciona que, “la tasa de tiempo de transferencia de calor a través de un material es proporcional al gradiente negativo en la temperatura y al área, en ángulo recto a ese gradiente, a través del cual fluye el calor.” (Connor, 2020).

La ecuación de la ley de Fourier se expresa de la siguiente manera:

$$Q/t = -\lambda A ((T_b - T_a) / L) \quad (1)$$

donde:

Q/t	Flujo de calor
λ	Coefficiente de conductividad
A	Área del muro
Ta	Temperatura inicial
Tb	Temperatura final
L	Longitud o espesor

Tomando en cuenta que la temperatura inicial se conduce por un área entonces Q/t, es el flujo de calor es decir la cantidad de calorías que circularon en un tiempo determinado expresado en segundos transcurridos para que llegara al otro extremo. Para conocer el valor de Q/t se debe multiplicar el coeficiente de conductividad (λ) por el área (A) del elemento, esto a su vez se multiplica por la diferencia entre la temperatura menor (Tb) y la temperatura mayor (Ta) dividido esta diferencia entre la longitud del elemento (L) que tuvo que trasladarse el calor. El coeficiente de conductividad (λ), indica la cantidad de calor que un material transmite una vez que es sometido a una fuente de calor, quiere decir que entre más grande sea el valor de λ , transmite mejor el calor.

Para le muro "A" de 100 % tierra compactada se tomó en cuenta que el factor de conductividad (λ) es 0.43 W/mK que de acuerdo con Magaña (2021), es el flujo de calor que se tramite en un bloque de tierra compactada.

$$\lambda = 0.43 \text{ W/mK}$$

$$A = 2.97 \text{ M}^2$$

$$T_a = 32^\circ$$

$$T_b = 27^\circ$$

$$L = 0.40 \text{ m}$$

$$Q/t = -\lambda A ((T_b - T_a) / L)$$

$$Q/t = (- 0.43 \text{ W/mK}) * (2.97 \text{ m}^2) * ((27^\circ - 32^\circ) / (0.40\text{m}))$$

$$Q/t = 16.00 \text{ W}$$

Para el muro "B" de 80 % tierra y 20 % cal, se tomó como factor de conductividad (λ) 0.27 W/mK.

$$\lambda = 0.27 \text{ W/mK}$$

$$A = 2.97 \text{ M}^2$$

$$T_a = 32^\circ$$

$$T_b = 27^\circ$$

$$L = 0.40 \text{ m}$$

$$Q/t = -\lambda A ((T_b - T_a) / L)$$

$$Q/t = (0.27 \text{ W/mK}) * (2.97 \text{ m}^2) * ((32^\circ - 27^\circ) / (0.40 \text{ m}))$$

$$Q/t = 10.04 \text{ W}$$

Con respecto al muro "C" de 60% tierra compactada, 32% cal y 8% fibra de coco, se toma como factor de conductividad (λ) 0.23 W/mK.

$$\lambda = 0.23 \text{ W/mK}$$

$$A = 2.97 \text{ M}^2$$

$$T_a = 32^\circ$$

$$T_b = 27^\circ$$

$$L = 0.40 \text{ m}$$

$$Q/t = -\lambda A ((T_b - T_a) / L)$$

$$Q/t = (0.23 \text{ W/mK}) * (2.97 \text{ m}^2) * ((32^\circ - 27^\circ) / (0.40 \text{ m}))$$

$$Q/t = 8.55 \text{ W}$$

Para el concreto armado se toma como factor de conductividad 2.3 W/mK, tomando como referencia el área y las mismas temperaturas y cambiando el espesor a 0.10 m.

$$\lambda = 2.3 \text{ W/mK}$$

$$A = 2.97 \text{ M}^2$$

$$T_a = 32^\circ$$

$$T_b = 27^\circ$$

$$L = 0.10 \text{ m}$$

$$Q/t = -\lambda A ((T_b - T_a) / L)$$

$$Q/t = (- 2.30 \text{ W/mK}) * (2.97 \text{ m}^2) * ((27^\circ - 32^\circ) / (0.10 \text{ m}))$$

$$Q/t = 342.33 \text{ W}$$

Para el análisis de los muros de block el factor de conductividad (λ) es 0.91 W/mK, y se consideran muros de 0.15 m.

$$\lambda = 0.91 \text{ W/mK}$$

$$A = 2.97 \text{ M}^2$$

$$T_a = 32^\circ$$

$$T_b = 27^\circ$$

$$L = 0.15 \text{ m}$$

$$Q/t = -\lambda A ((T_b - T_a) / L)$$

$$Q/t = (- 0.91 \text{ W/mK}) * (2.97 \text{ m}^2) * ((27^\circ - 32^\circ) / (0.15 \text{ m}))$$

$$Q/t = 90.29 \text{ W}$$

Para los muros de ladrillo se considera un factor de conductividad de 1.04 W/mK y un espesor de 0.15 m.

$$\lambda = 0.91 \text{ W/mK}$$

$$A = 2.97 \text{ M}^2$$

$$T_a = 32^\circ$$

$$T_b = 27^\circ$$

$$L = 0.15 \text{ m}$$

$$Q/t = -\lambda A ((T_b - T_a) / L)$$

$$Q/t = (- 1.04 \text{ W/mK}) * (2.97 \text{ m}^2) * ((27^\circ - 32^\circ) / (0.15 \text{ m}))$$

$$Q/t = 103.19 \text{ W}$$

3.6.4 Análisis Teórico del Comportamiento Físico de los Muros

El comportamiento físico de los muros en este caso se consideran el aislamiento acústico y la resistencia al fuego, ya que estas dos características según Minke (2005), forman parte de las ventajas de la construcción con tierra compactada.

3.6.4.1 Aislamiento Acústico.

El sonido se transmite a través de ondas sonoras, y mientras la intensidad se mantenga entre los 30 a 55 dB, se considera como bajo y son las ondas que principalmente percibimos al mantener una conversación o los ruidos convencionales dentro de un hogar, niveles se mantienen entre los 55 y 75 dB se considera normal, siendo los sonidos que captamos principalmente de la calle y algunos aparatos electrodomésticos, una vez rebasando los 75 a 120 dB se considera como un ruido alto y molesto, y cuando estos llegan hasta 120 dB el oído humano puede sufrir de molestias severas e incluso peligro de sordera.

El aislamiento acústico reduce el ruido del exterior, por lo tanto, un material con buen aislamiento favorece a que la energía sonora en el interior sea mínima, el nivel de intensidad se mide en decibles (dB), aplicando la ley de masa o ley de Berger la cual describe la correspondencia que existe entre la efectividad del aislamiento acústico con la masa superficial (masa por unidad de superficie) y la frecuencia del sonido (Rougero, 1977). Normalmente estos valores se presentan en una gráfica con escala logarítmica base natural en el eje X siendo la referencia una línea recta con la que se calculan y comparan los valores de la masa superficial, con la finalidad de facilitar la lectura y la presentación de los cálculos para nuestro análisis, se convirtió la escala logarítmica mencionada a escala lineal, se muestra la tabla que resulta de la ecuación de Berger en escala lineal resultando una ecuación logarítmica natural, en la figura 78.

De acuerdo con la información presentada y aplicando la ley de masas y la fórmula de

$$MS= Pe*e \quad (2)$$

Donde, MS: es la Masa Superficial; Pe: Peso específico y e,: el espesor del muro.

Lo cual nos indica que el peso específico del material o densidad es multiplicado por el espesor del muro para encontrar la masa. A continuación, se muestran los resultados de los valores para la los valores de la masa superficial de cada uno de los muros.

Por lo tanto, el muro “A” de 100% tierra compactada tiene una densidad de 1,785 kg/m³ que al multiplicarlos por el espesor de 0.40 m arroja un resultado de 715 kg/m².

$$MS= P*e$$

$$MS= (1,785 \text{ kg/m}^3) *(0.40\text{m})$$

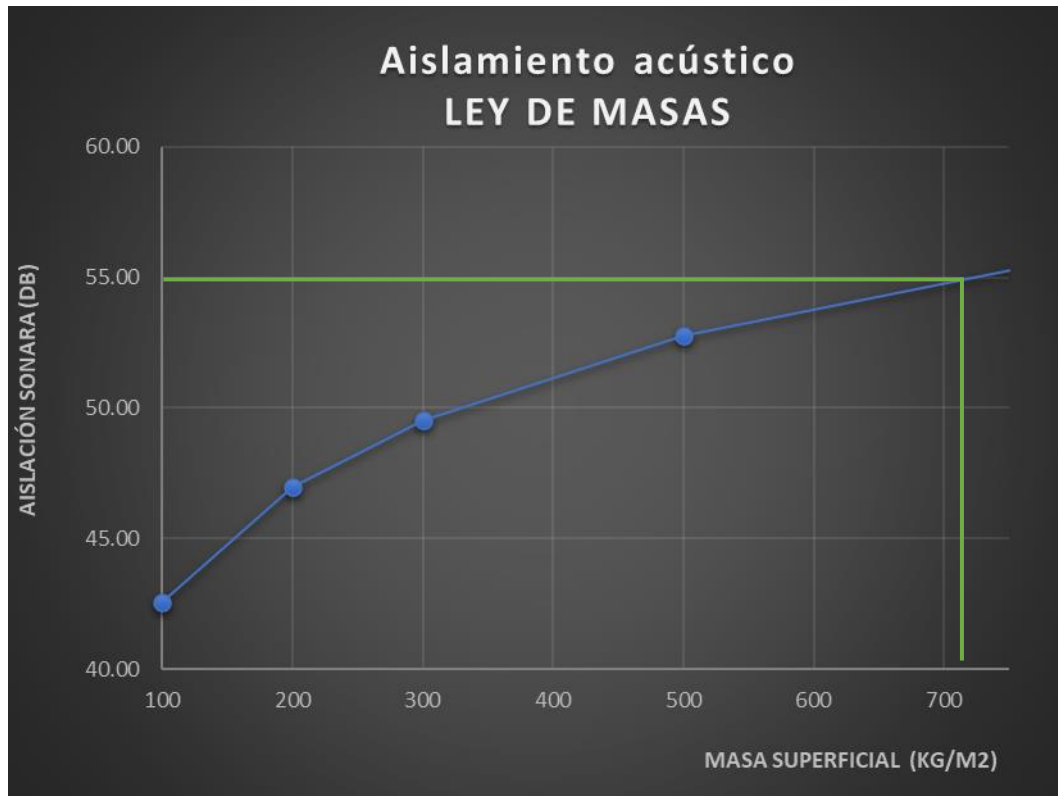
$$MS=715 \text{ kg/m}^2$$

Una vez identificado el valor de la masa, se hace la gráfica, para ello se ubica el valor de 715 kg/m² en el eje de las X y se traza una línea vertical hasta chocar con la curva de referencia,

encontrado el punto de intersección, se traza una horizontal hasta el eje Y, donde se localizan la aislación sonora en decibeles, dando una resultante de 55.04 dB, como se muestra en la figura 78.

Figura 78.

Gráfica de aislamiento acústico del muro A.



Por lo tanto, el muro “B” de 80% tierra compactada y 20% cal, la densidad es de 1,785 kg/m³ que al multiplicarlos por el espesor de 0.40 m arroja un resultado de 613. 20 kg/m².

$$MS = \rho \cdot e$$

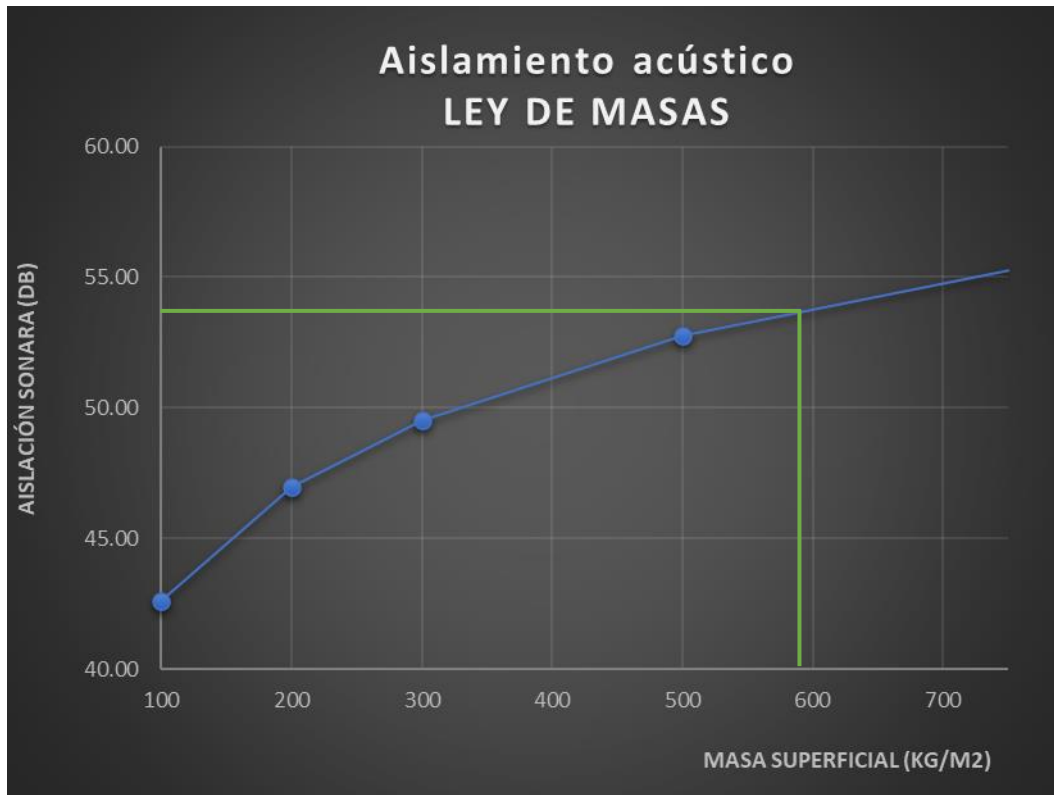
$$MS = (1,533 \text{ kg/m}^3) \cdot (0.40\text{m})$$

$$MS = 613.2 \text{ kg/m}^2$$

Expresando el resultado de la masa para el muro B, en la figura 79, se observa que la aislación sonora para este es de 54.06 dB.

Figura 79.

Gráfica de aislamiento acústico del muro B.



Finalmente, para el muro “C” de 60% tierra, 32% de cal y 8% de fibra de coco de densidad 1,394 kg/m³, el resultado de la multiplicación por el espesor resulta en una masa de 557.60 kg/m².

$$MS = Pe * e$$

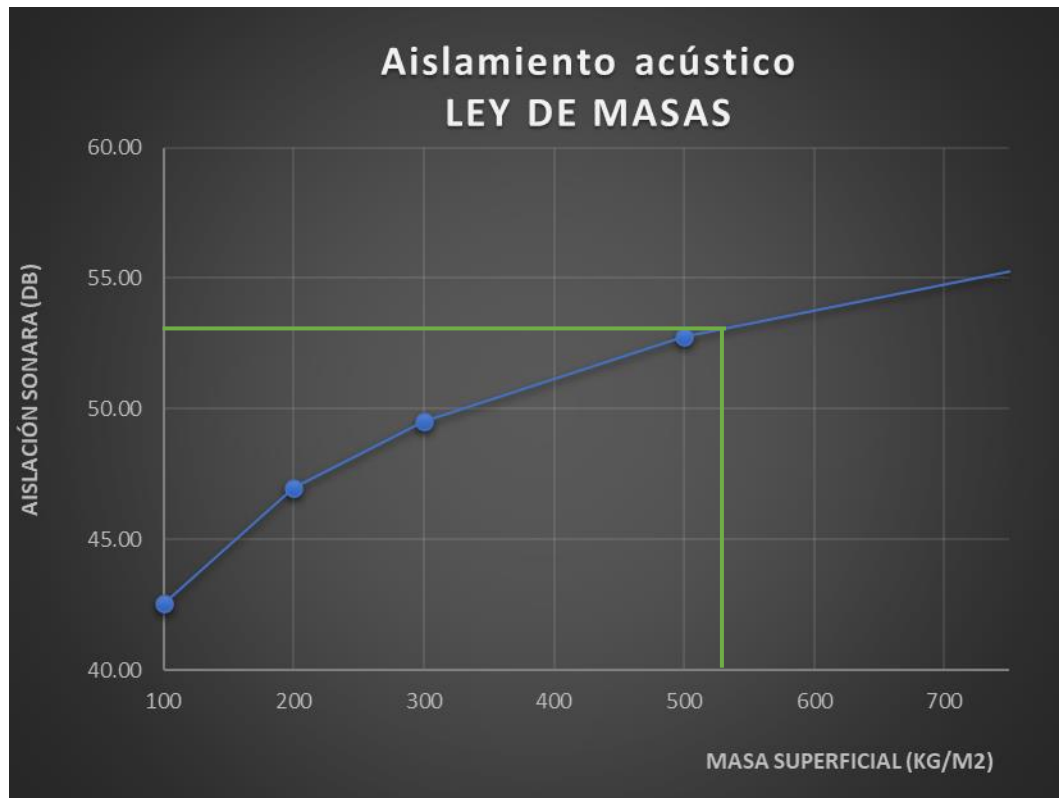
$$MS = (1,394 \text{ kg/m}^3) * (0.40\text{m})$$

$$MS = 557.6 \text{ kg/m}^2$$

Como se observa en la figura 80, al realizar el procedimiento para identificar el aislamiento acústico de este muro el resultado es de 53.46 dB.

Figura 80.

Gráfica de aislamiento acústico del muro C.



Para analizar el comportamiento acústico de otros sistemas constructivos se tomaron como referencia un muro de concreto armado de 0.10 m, un muro de block y ladrillo de 0.15 m. a continuación se muestra la ecuación para obtener la masa de un muro de concreto el cual es de 225 kg/m².

$$MS = Pe \cdot e$$

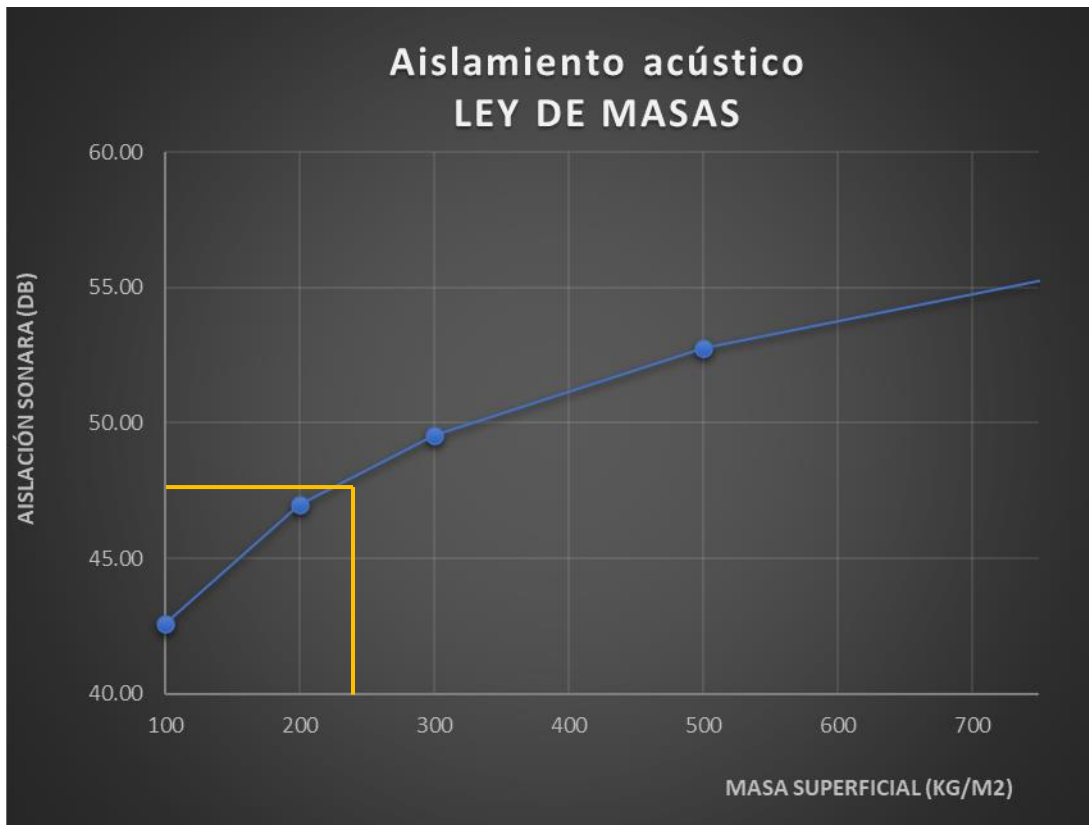
$$MS = (2,250 \text{ kg/m}^3) \cdot (0.10\text{m})$$

$$MS = 225 \text{ kg/m}^2$$

En la figura 81, se muestra la gráfica del valor de la masa del muro de concreto armado para obtener la aislación acústica, el cual arroja como resultado un aislamiento de 47.71 dB.

Figura 81.

Grafica de aislamiento acústico del muro de concreto.



Para un muro de block de densidad 960 kg/m^3 y espesor de 0.15 m la masa resultante es de 144 kg/m^2 , como se observa en la formula.

$$MS = Pe \cdot e$$

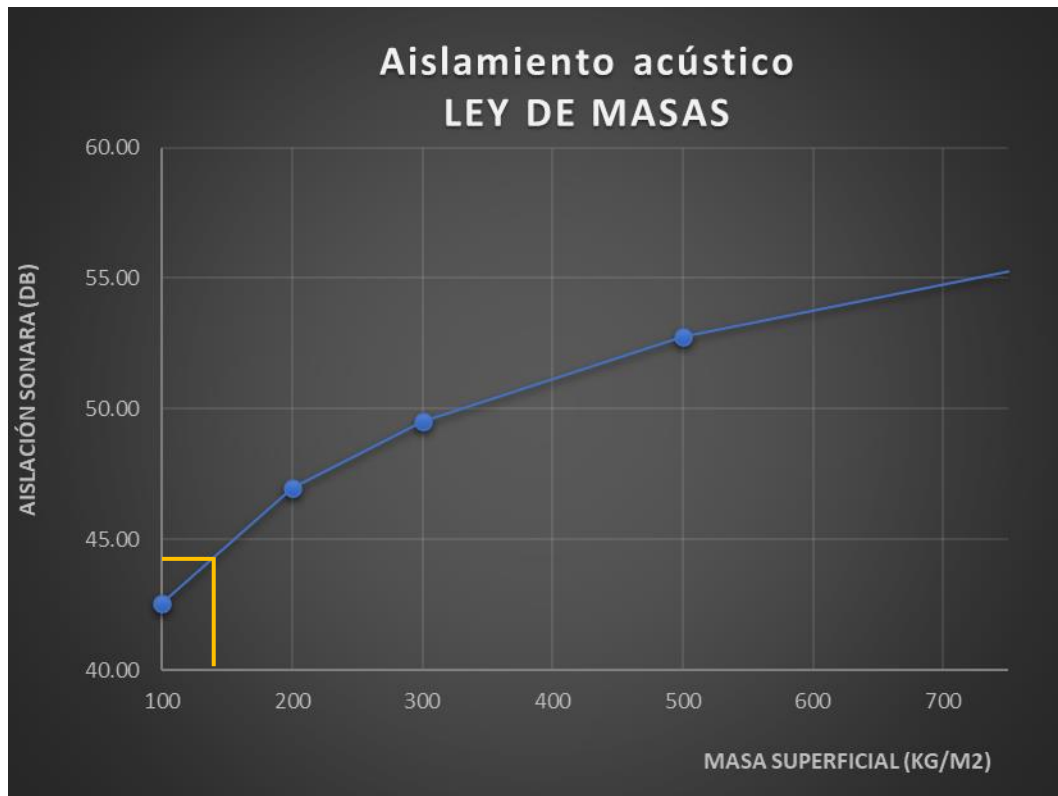
$$MS = (960 \text{ kg/m}^3) \cdot (0.15 \text{ m})$$

$$MS = 144 \text{ kg/m}^2$$

Una vez expresado el resultado de la masa del muro de concreto en la figura 82, se observa que el aislamiento acústico para este es de 44.89 dB.

Figura 82.

Gráfica de aislamiento acústico del muro de block.



Finalmente, para un muro de ladrillo con densidad de 2,170 kg/m³ y 0.15 m de espesor la densidad es de 323.5 kg/m².

$$MS = \rho \cdot e$$

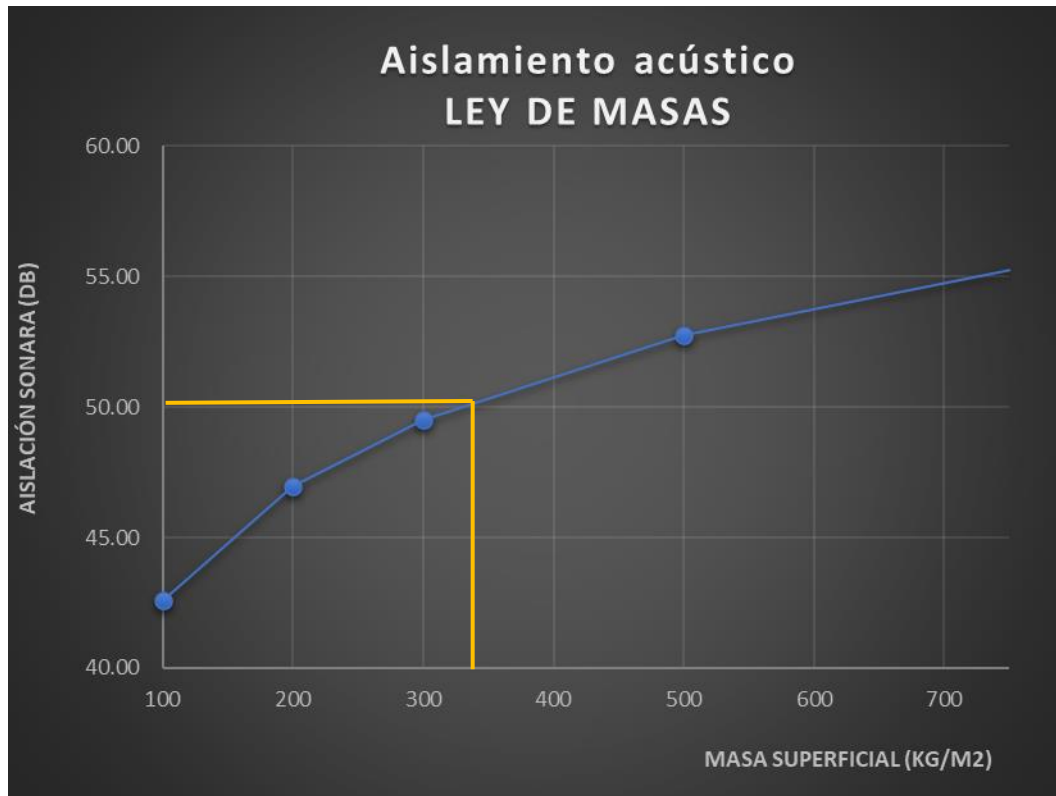
$$MS = (2,170 \text{ kg/m}^3) \cdot (0.15 \text{ m})$$

$$MS = 323.5 \text{ kg/m}^2$$

Representado en la figura 83, el aislamiento acústico para un muro de ladrillo tradicional es de 50.01 dB.

Figura 83.

Gráfica de aislamiento acústico del muro de ladrillo.



La resistencia al fuego es una propiedad de los materiales de mantener durante un tiempo la estabilidad estructural de los edificios y su integridad ante el humo o la combustión de los gases. Esta se mide en base a REI (capacidad portante, integridad y aislamiento) acompañada por el tiempo en minutos (15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 ó 360). De acuerdo con la composición de los materiales, estos se pueden clasificar como resistentes al fuego. Según la norma DIN 4102 como refiere Minke (2005) si el barro tiene una densidad mayor a los 1,700 kg/m³, aun conteniendo paja este no es combustible, esto quiere decir, que su resistencia al fuego es muy alta.

3.6.4.2 Resistencia al Fuego de los Muros.

De acuerdo con la escala de resistencia al fuego de ACI, en la tabla 14, se observa la resistencia al fuego de algunos espesores de recubrimientos o muros con tierra, como es el caso de un muro de tierra compactada de 40 cm, para el cual debe de transcurrir 2665 minutos para que este colapse, traducido a horas nos resultan 44.4, lo cual quiere decir que en caso de un conato de incendio se tiene el tiempo suficiente para controlarse.

Tabla 14.

Datos de resistencia en tiempo y espesor de la tierra.

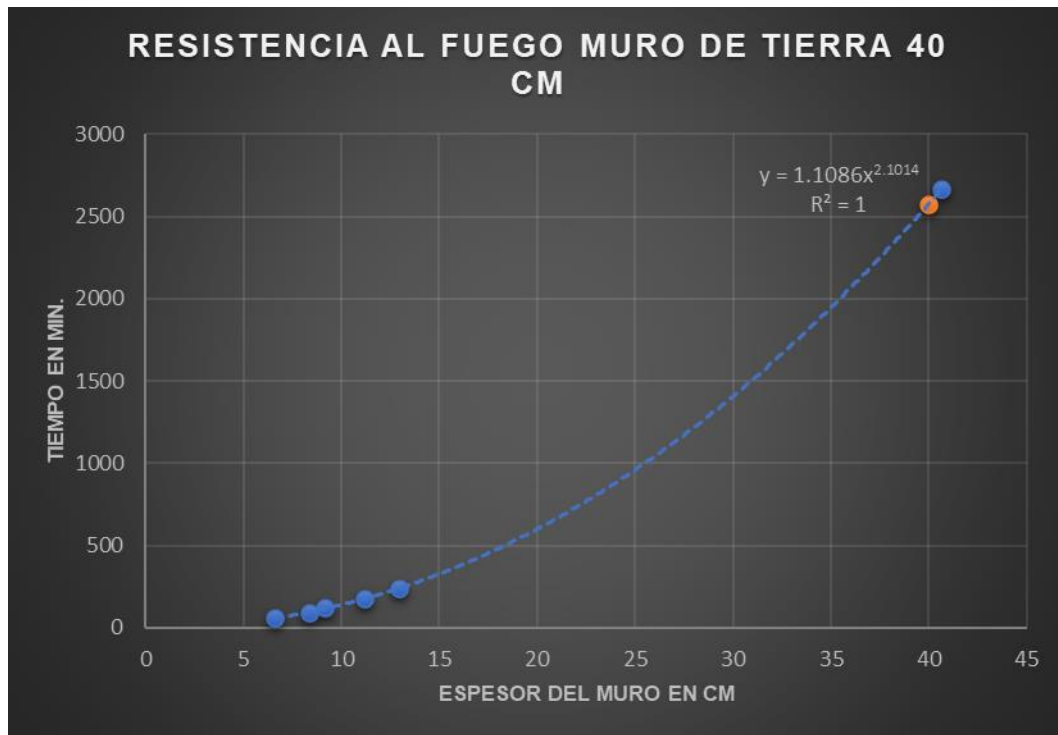
RESISTENCIA AL FUEGO PARA MUROS DE TIERRA						
Tiempo en minutos	60	90	120	180	240	2665
Espesor en centímetros	6	8	9	11	13	40

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022, con base en los datos de ACI 1997.

Los datos resultantes para un muro de 40 cm de espesor se graficaron en la figura 84, comportándose de manera potencial.

Figura 84.

Gráfica de resistencia al fuego de los muros de tierra.



En comparación a los muros de materiales convencionales, como se observa en la tabla 15, entre mayor sea el espesor del muro, más tiempo tarda en consumirse el material, sin embargo, los espesores que se pueden alcanzar en muros de concreto, no rebasan los 20 cm, por ende, para un de 10 cm, resiste aproximadamente 75 min, antes de colapsar.

Tabla 15.

Datos de resistencia en tiempo y espesor de concreto.

RESISTENCIA AL FUEGO PARA MUROS DE CONCRETO						
Tiempo en minutos	60	75	90	120	180	240
Espesor en centímetros	8	10	11	12	15	19

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022, con base en los datos de ACI 1997.

Los datos resultantes de la tabla para los muros de concreto con un espesor de 10 cm se muestran en la figura 85, la gráfica se comporta de manera lineal de acuerdo a la relación entre espesor y tiempo.

Figura 85.

Gráfica de resistencia al fuego de los muros de concreto.



En el caso de los muros de block sucede lo mismo que en el concreto, un muro de 12 cm, tarda alrededor de 120 minutos, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16.

Datos de resistencia en tiempo y espesor del block de concreto.

RESISTENCIA AL FUEGO PARA MUROS DE BLOCK						
Tiempo en minutos	60	75	90	120	180	240
Espesor en centímetros	8	10	11	12	15	19

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022, con base en los datos de ACI 1997.

En la figura 86, se muestra el comportamiento lineal de la gráfica de resistencia al fuego de los muros de block.

Figura 86.

Gráfica de resistencia al fuego de muros de block de concreto.



En el caso de los muros de ladrillo sucede lo mismo, entre mayor sea el espesor de los muros, la resistencia al fuego aumenta, por lo tanto, un muro de 15 cm, tarda alrededor de 235 minutos, lo cual se muestra en la tabla 17.

Tabla 17.

Datos de resistencia en tiempo y espesor del ladrillo.

RESISTENCIA AL FUEGO PARA MUROS DE LADRILLO						
Tiempo en minutos	60	90	120	180	240	235
Espesor en centímetros	6	8	9	11	13	15

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022, con base en los datos de ACI 1997.

Finalmente, en la figura 87, se observa la gráfica resultante de ellos datos correspondientes a los muros de ladrillo.

Figura 87.

Gráfica de resistencia al fuego de muros de ladrillo.



3.6.5 Análisis Teórico del Comportamiento Estructural de los Muros

El comportamiento a la compresión de los elementos de tierra varía de acuerdo a la composición granulométrica, los métodos para su preparación y compactación Minke (2005). En la siguiente tabla se hace una comparación entre la presión de un muro de tierra compactada de 40 cm expuesto por Bestraten et. al (2011), contra los resultados obtenidos por Magaña (2021), expresada en kg/cm^2 , para el primero, la tierra compactada tiene una resistencia de $40.70 \text{ kg}/\text{cm}^2$, mientras que los resultados de Magaña (2021), la resistencia para los bloques de 100% tierra es de $46.82 \text{ kg}/\text{cm}^2$, mientras que los que contienen 80% tierra compactada, 20% cal, tiene una resistencia de $20.37 \text{ kg}/\text{cm}^2$, finalmente para los bloques de 80% tierra compactada, 32% cal y 8% fibra de coco, resisten $20.14 \text{ kg}/\text{cm}^2$, como se representa en la tabla 18.

Tabla 18.

Datos de la densidad y presión que resisten los muros de tierra.

Bibliografía	Descripción	Densidad	Presión
Bestraten, et. al, 2011	Muro de tierra compactada de 40 cm	1, 400-2,000 kg/m^3	$40.70 \text{ kg}/\text{cm}^2$
Magaña,2022.	100% tierra compactada	1,785 kg/m^3	$46.82 \text{ kg}/\text{cm}^2$
Magaña,2022.	80% tierra compactada, 20% cal.	1,394 kg/m^3	$20.37 \text{ kg}/\text{cm}^2$
Magaña,2022.	80% tierra compactada, 32% cal y 8% fibra de coco	1,533 kg/m^3	$20.14 \text{ kg}/\text{cm}^2$

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022, con base en los datos Bestraten, et. al, 2011.

La presión se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , para obtener la carga máxima que puede soportar cada uno de los muros, aplicando la formula:

$$R=A \cdot P \quad (3)$$

Donde; R: resistencia en toneladas; A: Superficie horizontal del muro en m²; P: presión kg/m².

Se multiplico el largo de 244 cm, por el ancho de 40 cm, obteniendo un área de 9,760 cm². Una vez obtenido este dato, se multiplico por cada uno de los datos de la resistencia de la tabla anterior, en donde, el muro "A" se obtuvo un que resiste 456.96 T, para el muro "B" son 198.81 T, finalmente para el muro "C" la resistencia es de 196.57 T, como se observa en la tabla 19.

Tabla 19.

Resultados de área, presión aplicada y resistencia de los muros de tierra.

Muro	Área cm ²	Presión kg/cm ²	Resistencia T
Muro A	9,760	46.82	456.96
Muro B	9,760	20.37	198.81
Muro C	9,760	20.14	196.56

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

Para los materiales convencionales la presión es mayor, para el concreto es de 200 kg/cm², para el block convencional es de 150 kg/cm², finalmente para el ladrillo es de 24 kg/cm², como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20.

Datos de la densidad y presión que resisten los muros tradicionales.

Bibliografía	Descripción	Densidad	Presión
	Concreto armado	2,250 kg/m ³	200 kg/cm ²

Bestraten, et. al, 2011	Block convencional	2,777 kg/m ³	150 kg/cm ²
	Ladrillo común	2,170 kg/m ³	24 kg/cm ²

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

En la tabla 21, se observa que la presión, para un muro de concreto de 2,440 cm² es de 488 T, para los muros de block de 2,929 cm² con una resistencia de 439.20 T finalmente para el muro de ladrillo de 3,660 cm² de resistencia 87.84 T.

Tabla 21.

Resultados de área, presión y resistencia de los muros tradicionales.

Muro	Área cm ²	Presión kg/cm ²	Resistencia T
Concreto armado	2,440	200	488.00
Block convencional	2,929	150	439.35
Ladrillo común	3,660	24	87.84

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

3.7.6 Emisión de CO₂

La quema de combustibles fósiles como carbón, gas natural y petróleo son comúnmente utilizadas para generar energía en la industria, así como para la transportación de los productos realizados en ella, tal es el caso de la producción de cemento y acero, que son en la industria de la construcción las principales fuentes de emisiones de CO₂, según Bestraten, et al (2011), en la tabla 22, en la quinta columna se muestra la emisión en kilogramos de CO₂ por kilogramo de material, así mismo observamos en la primer columna el material descrito, en la segunda su densidad en kg/m³, en la tercera y la cuarta, el volumen y el peso de los muros en metros cúbicos y kilogramos respectivamente, y finalmente, en la última se expresa el resultado de la emisión de Toneladas de CO₂, en la siguiente tabla 22, se presenta las correspondientes a los muros de tierra con un espesor de 40 cm aplicando la siguiente fórmula .

$$GC = Cu * Pt \quad (4)$$

Donde, GC: grado de contaminación en kg de CO₂; Cu: Cantidad de CO₂ por kg de material; Pt: Peso del material.

$$Pt = D * V \quad (5)$$

Donde: D: densidad del material; V: volumen del material.

Tabla 22.

Resultado de la emisión de CO₂ de los muros de tierra.

Materiales	Densidad kg/m ³	MURO		KgCO ₂ /kg material	Kg de CO ₂
		Volumen M ³	Peso en kg		
Muro A	1,780.00	1.19	2,119.48	7,998.26	3.8
Muro B	1,394.00	1.19	1,659.86	7,998.26	4.8
Muro C	1,533.00	1.19	1,825.37	7,998.26	4.4

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022. con base en los datos Bestraten, et. al, 2011.

Igualmente, en la tabla 23, de acuerdo a Bestraten, et. al, (2011) se presentan en el mismo orden las características para cada tipo de muro concreto, block y ladrillo de acuerdo a los diferentes volúmenes de cada material, al considerar como variable el ancho, siendo 10, 12 y 15 cm las dimensiones de cada tipo de muro respectivamente.

Tabla 23.

Resultado de la emisión de CO₂ de los muros tradicionales.

Materiales	Densidad kg/m ³	MURO		KgCO ₂ /kg material	Kg de CO ₂
		Volumen M ³	Peso en kg		
Concreto	2,250.00	0.30	669.78	115,967.18	173.1
Block	2,777.00	0.36	991.99	11,100.00	11.2
Ladrillos	2,170.00	0.45	968.95	27,979.78	28.9

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022. con base en los datos Bestraten, et. al, 2011.

3.7.7 Factor de Reducción en los Costos y Tiempos de Edificación

Para encontrar el posible factor de reducción del costo entre la fabricación de tres muros tradicionales, de concreto, block y ladrillo simples sin refuerzo estructural en todos ellos, y los tres tipos de muros de tierra compactada, se partió del análisis de precios unitarios, considerando en todos los casos la dimensión de 1.22 x 2.44 m, en la siguiente tabla 24, se presenta el costo parcial correspondiente a la construcción de la cimentación como elemento común para los seis tipos de muro.

Tabla 24.

Precios unitarios de los preliminares y cimentación.

Preliminares y cimentación				
Concepto	Unidad	PU	Cantidad	Total
Trazo y nivelación del terreno. Incluye; material, mano de obra y todo lo necesario para su ejecución.	m ²	\$ 7.00	3	\$ 21
Cimentación tipo ciclópea de piedra braza de 60 cm de base y 60 cm, junteado con mortero de cemento-arena proporción 1:6. Incluye herramientas, mano de obra y materiales.	m ³	\$ 1,120	0.58	\$ 650

Subtotal	\$ 671
-----------------	---------------

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

Para el muro A con espesor de 40 cm, de 100% tierra se contempló solo la mano de obra, ya que no requiere de materiales adicionales, el costo de la cimbra no se consideró ya que es el mismo en todos los casos de muros de tapial como de concreto, se presenta en la tabla 25, los valores obtenidos.

Tabla 25.

Precio unitario de un muro tipo A.

MURO A				
Concepto	Unidad	PU	Cantidad	Total
El muro experimental tipo "A" de tierra compactada. Incluye; material, mano de obra y todo lo necesario para su ejecución.	m3	\$550.00	1.19	\$654.50
			Subtotal	\$655

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

Para el muro B del mismo espesor anterior, con proporción de 80 % tierra y 20% cal, adicionalmente a costo de la mano de obra se agregó el costo de la cal que fue adicionada a la mezcla, los valores obtenidos se presentan en la tabla 26.

Tabla 26.

Precio unitario de un muro tipo B.

MURO B				
Concepto	Unidad	PU	Cantidad	Total
El muro experimental tipo "B" de 80% tierra compactada y 20% cal. Incluye; material, mano de obra y todo lo necesario para su ejecución.	m3	\$776.89	1.19	\$924.50
			Total	\$925

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

Finalmente, para el muro C, 60% tierra, 32% de cal y 8% de fibra de coco, con igual espesor, adicionalmente a costo de la mano de obra se agregó el costo de la cal y la fibra que fueron adicionadas a la mezcla, los valores obtenidos se presentan en la tabla 27.

Tabla 27.

Precio unitario de un muro tipo C.

MURO C				
Concepto	Unidad	PU	Cantidad	Total
El muro experimental tipo "C" de 60% tierra compactada, 32% cal y 8% fibra de coco. Incluye; material, mano de obra y todo lo necesario para su ejecución.	m3	\$ 952.12	1.19	\$1,133.02
			Total	\$1,133.02

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

Para la obtención del costo del muro de concreto fue necesario calcular el costo por metro cubico de concreto f'c 200 kg/cm², resultando un precio unitario de \$1,800, y una vez aplicado el precio al volumen calculado con un espesor de 10 cm se obtuvo el costo del concreto aplicado, se puede ver en la tabla 28, no se considera el costo de la cimbra ya que en este caso sería similar al utilizado en los muros de tapia, de tal manera que el costo presentado es solo de su fabricación.

Tabla 28.

Precio unitario de un muro de concreto.

Muro de Concreto				
Concepto	Unidad	PU	Cantidad	Total
Muro de concreto f'c 200 kg/cm ² . Incluye herramientas, mano de obra y materiales.	M ³	\$1,800	0.29	\$522
			Subtotal	\$522

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

En cuanto a la fabricación del muro de block fue necesario calcular el costo unitario por metro cuadrado de muro, que considera además de los bloques, el mortero para las juntas y la mano de obra, resultando un precio unitario de \$ 400, y una vez aplicado el precio a la superficie considerando el espesor de 12 cm, se obtuvo el costo del muro lo cual se muestra en la tabla 29, obviamente no se considera costo de la cimbra ya que no se utiliza en este caso.

Tabla 29.

Precio unitario de un muro de block.

Muro de block				
Concepto	Unidad	PU	Cantidad	Total
Muro de block de 12 cm junteado con mortero-arena 1:6. Incluye herramientas, mano de obra y materiales.	M ²	\$ 345	2.97	\$1,025
			Subtotal	\$1,025

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

De igual manera para la fabricación del muro de ladrillo fue necesario calcular el costo unitario por metro cuadrado de muro, que considera además de los ladrillos, el mortero para las juntas y la mano de obra, resultando un precio unitario de \$258, y una vez aplicado el precio a la

superficie considerando el espesor de 15 cm, se obtuvo el costo del muro, como se ve en la tabla 30, obviamente no se considera costo de la cimbra ya que no se utiliza en este caso.

Tabla 30.

Precio unitario de un muro de block.

Muro de ladrillo				
Concepto	Unidad	PU	Cantidad	Total
Muro de block de 12 cm junteado con mortero-arena 1:6. Incluye herramientas, mano de obra y materiales.	M2	\$ 427	2.97	\$1,268
			Subtotal	\$1,268

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

3.7.8 Propuesta de Vivienda con el Sistema Mixto de Tapia y Bambú

3.7.8.1 Diagnóstico.

Una vez estudiadas las características de las viviendas ubicadas en las zonas rurales del estado de Colima, se planteó el diseño de una vivienda unifamiliar, destinada para albergar a más de cinco habitantes, ya que generalmente en las comunidades rurales las familias suelen ser numerosas, con integrantes de diferentes edades y roles.

Además, los terrenos rurales son de mayores dimensiones que los urbanos, lo cual permite crear un diseño con espacios más amplios, ya que la vivienda rural se basa en los principios de la arquitectura vernácula, tomando los recursos que se tiene a la mano, así como la identidad cultural y adaptándose a cada una de las necesidades.

Usuarios

Se plante hipotéticamente una familia conformada por cinco integrantes:

Padre de familia, generalmente realiza trabajos de campo o sale de su comunidad a las zonas donde se ofrecen mejores oportunidades de empleo.

Madre de familia, generalmente se dedica al cuidado del hogar, sin embargo, también pueden trabajar fuera de la misma comunidad.

Hijos, un adolescente y uno menor de 10 años, generalmente estudiantes, que ayudan con el cuidado del hogar.

Adulto mayor, familiar directo de alguno de los padres, generalmente ya no se dedica alguna actividad en especial, puede pasar largos periodos en el hogar.

Necesidades espaciales

Se requiere de un espacio amplio, con buena ventilación e iluminación natural, que puedan ser adaptados para realizar diferentes actividades. Un área privada de descanso independientes entre sí de los padres de familia, los hijos y el abuelo.

Áreas comunes o publicas al interior y exterior de la vivienda, la cual puede ser adaptada para diferentes usos, como espacios para tareas o actividades familiares, una cocina y espacio para comedor, actualmente el uso de estufas eléctricas o de gas han aumentado en las comunidades, sin embargo, en algunas se sigue cocinando con leña, utilizando los típicos fogones de barro.

Contexto natural

Como ejercicio para esta investigación se tomó como referencia la comunidad de Campo Cuatro, ubicada al noroeste del municipio de Comala, con una altitud de 1,258 metros sobre el nivel del mar, cuenta con un clima templado, durante el invierno las temperaturas pueden alcanzar hasta los 12° y en verano hasta los 30°, en la figura 88, se observa la ubicación de la comunidad en cuestión.

Figura 88.

Ubicación de Campo Cuatro.



Nota. Imagen tomada de Google Earth, 2021.

Se selecciono un terreno que se única sobre la calle principal con orientación sureste, cuenta con una superficie de 746.46 m², con un frente de 24.70 m y de fondo 34.19 m, de topografía regular, se rodea de árboles frutales y maderables como guásimas y vainilla, el terreno en cuestión se muestra en la figura 89.

Figura 89.

Terreno para la propuesta de vivienda.



Nota. Imagen tomada de Google Earth, 2021.

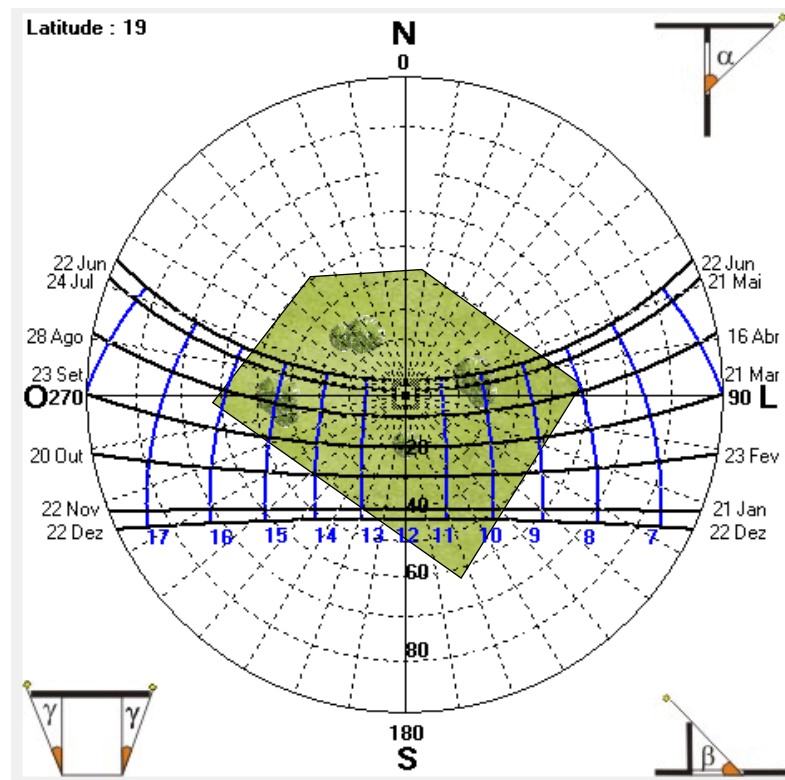
Asoleamiento y vientos

El viento con más frecuencia viene del Oeste por 6,5 meses, partiendo del 30 de enero al 15 de agosto y durante 1,7 mes del 28 de septiembre al 20 de noviembre. El viento del Sur dura 1,4 meses partiendo del 15 de agosto al 28 de septiembre. El viento del Norte dura 2,3 meses partiendo del 20 de noviembre al 30 de enero.

En la figura 90, se observa que la mayor cantidad de iluminación natural se recibe al frente del terreno de 7:00 a 12:00 del día, mientras que a partir de las 12:00 hasta las 17:00 horas, el suroeste del terreno recibe mayor irradiación.

Figura 90.

Grafica solar.



Nota. Elaboración propia de la autora, 2022. Tomando como referencia la gráfica de SOL-AR.

3.7.8.2 Análisis.

Casos análogos

La mayoría de las viviendas cuentan con una planta seccionada, lo cual quiere decir que cada edificio tiene una función diferente, los espacios con mayor dimensión son destinados a las habitaciones, el mediano a la cocina y el más pequeño al baño general mente en un área aislada del resto de los espacios. En la figura 91, se presenta un grupo de tres viviendas, donde se identifican mediante colores, el rojo las recamaras, azul a los espacios para cocinar y comer, el amarillo al baño y el morado a los espacios con terrazas, todas las viviendas cuentan con una cocina donde se utiliza la leña para cocinar. Estas viviendas están construidas con sistemas mixtos, bahareque, adobe, ladrillo, block, con cubiertas de lámina y concreto.

Figura 91.

E1: *Composición arquitectónica de las viviendas de la comunidad.*



Nota. Imagen tomada de Google Earth, 2021.

En el siguiente ejemplo en la figura 92, se observa la disposición de otra vivienda localizada en la zona, donde las cuatro recamaras cuentan con grandes dimensiones además se encuentran alejadas de la cocina y el baño, cuentan con un gran espacio y áreas descubiertas.

Figura 92.

E2: composición arquitectónica de las viviendas de la comunidad.



Nota. Imagen tomada de Google Earth, 2021.

Además de los ejemplos que se muestran en la figura 93, son parte de una recopilación de la morfología arquitectónica rural en algunas comunidades del estado, sumado a los casos análogos encontrados en el contexto, donde sucede lo mismo, espacios separados de acuerdo a las actividades que se realizan en cada uno.

Figura 93.

Ejemplo 3 de la composición arquitectónica de las viviendas del estado.



Nota. Imagen tomada y adaptada de, Atlas de la tradición constructivas de Colima, S/F.

Habiendo estudiado las necesidades y los antecedentes anteriormente presentados, se llegó a la conclusión de una propuesta arquitectónica, donde se cubran todas las necesidades espaciales del usuario, es por eso que se propone el siguiente programa arquitectónico.

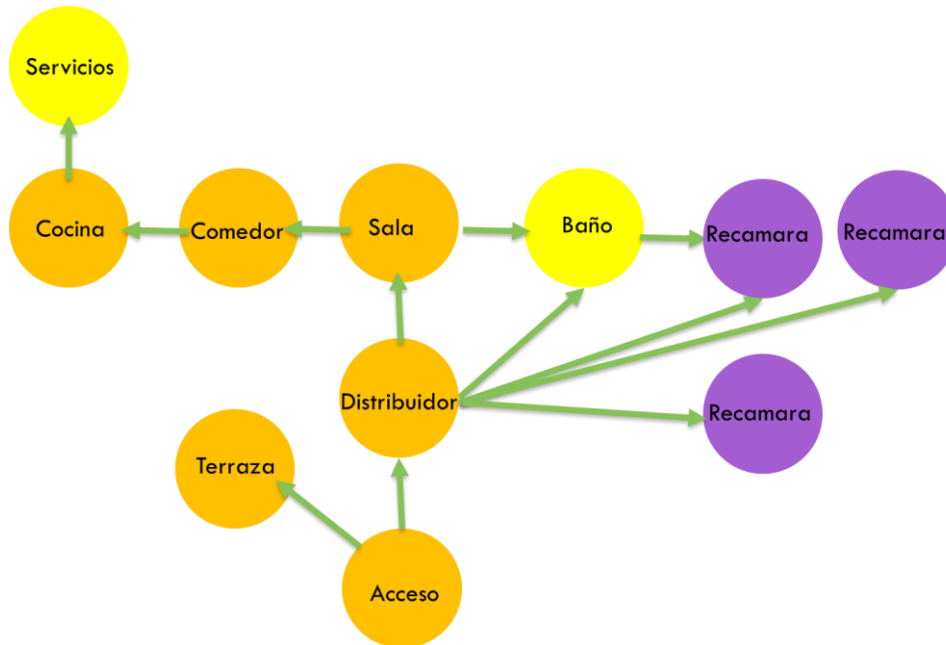
- 3 recamaras
- Un baño completo
- Sala
- Cocina-comedor
- Terraza con espacio para figones

Concepto funcional

Tomando en cuenta las necesidades espaciales de los usuarios, el sistema constructivo y los casos análogos, se pretende que los espacios funcionen dentro de un mismo núcleo, como se observa en la figura 94.

Figura 94.

Concepto funcional.



Concepto espacial

Una vez analizado el aspecto funcional se determinó las áreas destinadas para los espacios de acuerdo a las necesidades del usuario como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31.

Concepto espacial-funcional.

ESPACIO	FUNCIÓN/ ACTIVIDADES	ÁREA M2
Recamara principal	Descanso/dormir, recostarse, ver televisión.	16 m ²
Recamara Niños	Descanso/dormir, recostarse, ver televisión.	16 m ²
Recamara Adulto mayor	Descanso/dormir, recostarse, ver televisión.	16 m ²

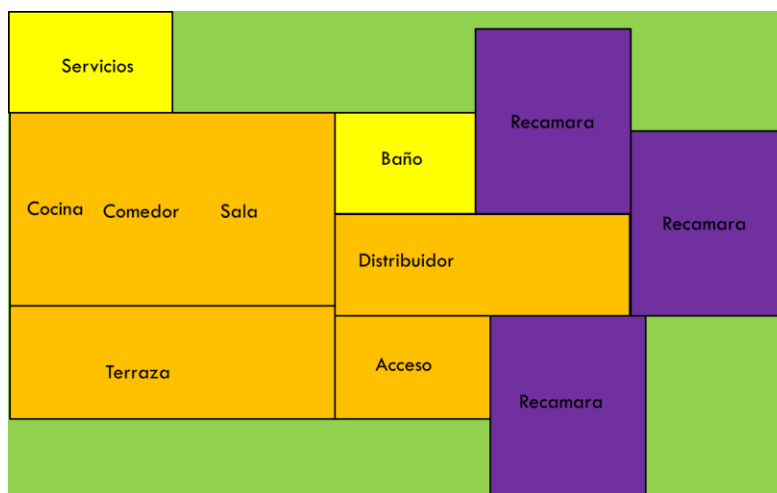
Sala de estar	Descanso, recreación/ realizar actividades de la escuela o trabajo.	16 m ²
Cocina- comedor	Alimentación/cocinar, convivir	16 m ²
Terraza	Descanso, actividades múltiples/ se pueden realizar diferentes actividades de recreación, trabajo etc.	60 m ²
Baño	Necesidades fisiológicas	4.88 m ²
Total		144.88m²

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

De acuerdo a las dimensiones de los espacios y del terreno propuesto, se propone un espacio de 12.00 m por 20.50 m, resultando un total de 246 m², como se muestra en la figura 95, los espacios están dimensionados y dispuestos de acuerdo al diagrama funcional.

Figura 95.

Concepto funcional.

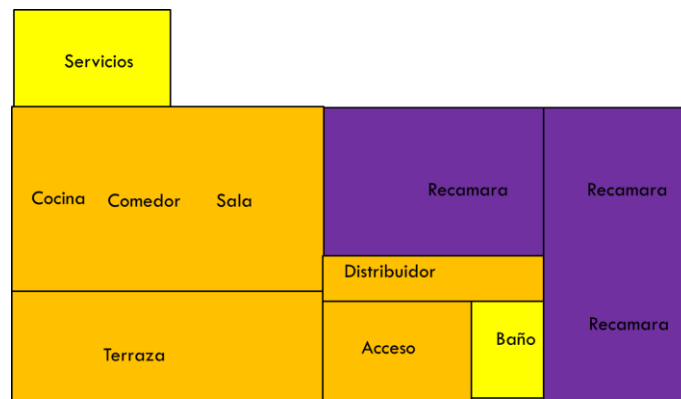


Concepto formal

Se optó por una planta rectangular, ya que esta manera se modulan fácilmente los muros de tapia, la planta es mucho más libre y las circulaciones que se forman son lineales, como se muestra en la figura 96.

Figura 96.

Concepto Formal.



3.7.9 Síntesis.

Una vez analizados los aspectos que involucran al espacio, forma y función se llegó a una propuesta de zonificación como la que se muestra a continuación en la figura 97, colocada sobre el terreno propuesto.

Figura 97.

Propuesta de zonificación.



4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Resultados

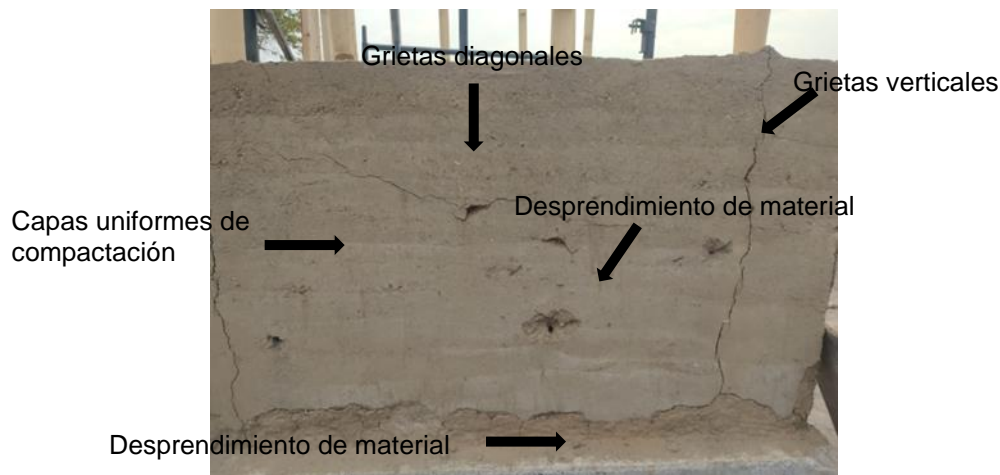
4.1.1 Cambios Físicos de los Muros

Muro "A" 100% Tierra compactada

Se presentaron grietas verticales, horizontales y diagonales en la superficie del muro, en algunas zonas tienen una dimensión menor a 0.2 cm, sin embargo, en algunas áreas alcanzan hasta los 7 cm, estas se encuentran principalmente en las franjas dónde se colocaron los refuerzos de los bambúes. En la cara exterior del muro se observó el desprendimiento de material, principalmente en el perímetro del mismo, siendo mayor en su base. Las capas de muro tienen una apariencia uniforme, a excepción de las zonas donde se tiene refuerzos de bambú. El fraguado no fue el adecuado, como se muestra en la figura 98.

Figura 98.

Resultado del estado físico del muro A.



Muro “B” 80% tierra compactada y 20% de cal

Se observan grietas verticales en todos los refuerzos de bambú, las cuales no sobrepasan los 0.2 cm. En la base y las esquinas del muro se observaron desprendimientos de material, generando un mal aspecto estético y no por una falla estructural. Se observa compactación homogénea en gran parte del muro, la mayoría de las capas se mantienen uniformes, sin embargo, en la zona central presentan dimensiones mayores. Así mismo se identificó una mayor cohesión del material. El fraguado fue el adecuado, como se muestra en la figura 99.

Figura 99.

Resultado del estado físico del muro B.



Muro “C” 60% tierra, 32% de cal y 8% de fibra de coco.

Se observan solo grietas verticales en todos los refuerzos de bambú, las cuales no sobrepasan los 0.2 cm. Se identificaron desprendimientos de material en la base, las esquinas del muro y en las zonas donde se concentra la fibra de coco. Se observa que la compactación

no fue la adecuada en gran parte del muro, ya que se localizan concertaciones de fibra de coco, arena y grava. El fraguado fue el adecuado, como se muestra en la figura 100.

Figura 100.

Resultado del estado físico del muro C.



4.1.2 Comportamiento Térmico de los Muros

Como se muestra en la tabla 32, los muros de tierra compactada en sus diferentes proporciones tienen un menor coeficiente de conductividad por lo tanto el flujo de calor es menor, en comparación de los muros de concreto, block y ladrillo.

Tabla 32.

Resultados del comportamiento térmico de los muros.

TIPO DE MURO	FLUJO DE CALOR Q/t
Muro A	16.00 W
Muro B	10.04 W
Muro C	8.55 W
Concreto	342.33 W

Block	90.29 W
Ladrillo	103.19 W

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

4.1.3 Comportamiento Físico de los Muros

4.1.3.1 Aislamiento Acústico de los Muros.

Los muros de tierra compactada en sus diferentes composiciones, en la tabla 33, se observan los resultados de los aislamientos térmicos obtenidos.

Tabla 33.

Resultado del comportamiento acústico de los muros.

TIPO DE MURO	AISLAMIENTO ACÚSTICO
Muro A	55.04 dB
Muro B	54.06 dB.
Muro C	53.46 dB.
Concreto	47.71 dB
Block	44.89 dB
Ladrillo	50.01 dB

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

4.1.3.2 Resistencia al fuego de los muros.

En la tabla 34, el nivel de resistencia al fuego de los muros, siendo el de tierra el más resistente.

Tabla 34.

Resultados del comportamiento ante el fuego de los muros.

TIPO DE MURO	TIERRA	CONCRETO	BLOCK	LADRILLO
ESPESOR DEL MURO cm	40 cm	10 cm	12 cm	15 cm
TIEMPO EN min	2665 min	75 min	120 min	235 min

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

4.1.4 Comportamiento Estructural de los Muros

En la tabla 35, se observa el comportamiento estructural de los muros analizados.

Tabla 35.

Resultados del comportamiento estructural de los muros.

MURO	RESISTENCIA
Muro A	456.96 T
Muro B	198.81 T
Muro C	196.50 T
Concreto armado	488.00 T
Block convencional	439.35 T
Ladrillo común	87.84 T

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

4.1.5 Comportamiento de la Emisión de CO₂

Las emisiones CO₂ se puede ver en la tabla 36, resultado con menor cantidad los que están hechos de tierra.

Tabla 36.

Resultado de la emisión de CO₂ de los muros.

TIPO DE MURO	EMISIÓN DE CO ₂
Muro A	3.8 kg
Muro B	4.8 kg
Muro C	4.4 kg
Concreto	173.1 kg
Block	11.2 kg
Ladrillos	28.9 kg

Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

4.1.6 Reducción en los Costos y Tiempos de Edificación

A continuación, en la tabla 37, se presentan los costos totales de casa uno de los muros.

Tabla 37.

Resultados de costo de construcción de los muros.

TIPO DE MURO	COSTO DEL MURO		
	Cimentación	Construcción	Total
Muro A	\$ 671.00	\$655.00	\$ 1,326.00
Muro B	\$ 671.00	\$925.00	\$ 1,596.00
Muro C	\$ 671.00	\$1,133.02	\$ 1,804.02
Concreto	\$ 671.00	\$522.00	\$ 1,193.00
Block	\$ 671.00	\$1,025.00	\$ 1,696.00
Ladrillo	\$ 671.00	\$1,268.00	\$ 1,939.00

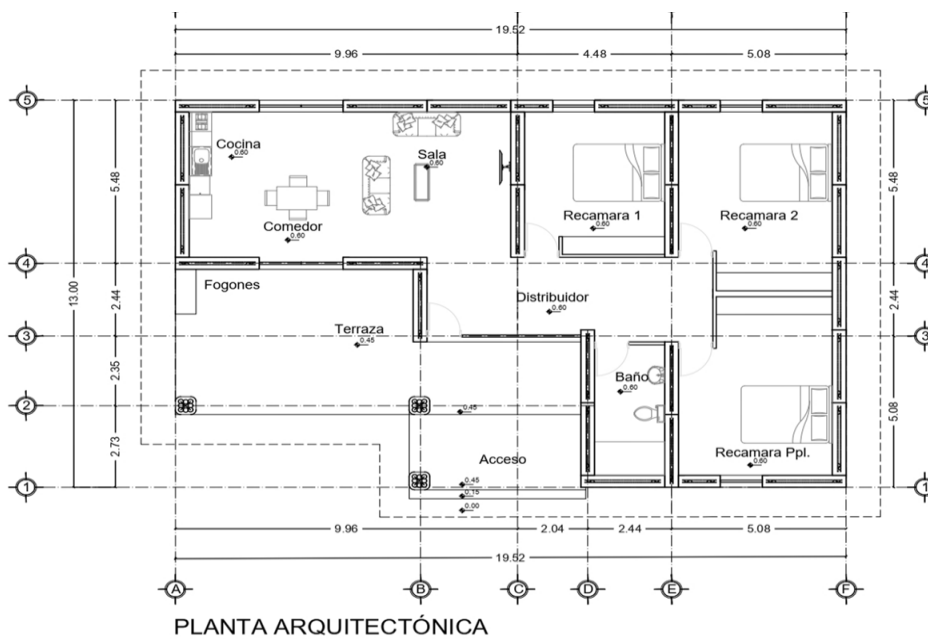
Nota. Elaboración propia de la autora, 2022.

4.1.7 Propuesta de Vivienda

En la figura 101, se muestra la planta arquitectónica de la propuesta de vivienda modular de tapia y bambú.

Figura 101.

Planta arquitectónica de la vivienda.



4.2 Análisis y Discusión de los Resultados

4.2.1 Cambios Físicos de los Muros

Las grietas que se observaron en las superficies de todos los muros, son tanto estructurales como estéticas, las estructurales, mayores a 7 cm se presentaron solo en el muro A, debido a la mala compactación entre el bambú y el molde, las estéticas fueron observadas en todos los muros debido de igual manera a las cercanías entre la cimbra y el bambú, las características del material, la evaporación del agua y al no respetar el tiempo de fraguado.

El desprendido se presentó debido a dos factores; la calidad del molde y la presencia de materia orgánica en el material. En el primer caso, el molde se diseñó de tal manera que sobresalen las pestañas del ángulo que sujetan a la hoja de triplay y al momento de retirarlo, el material sobre las pestaña inferior y laterales se desprenda junto con él. Mientras que los desprendidos en la zona central del muro fueron debido a la presencia de algunas semillas vegetales que germinaron.

La compactación de la tierra se logró de manera homogénea en los muros A y B, mientras que en el muro C, se identificó la concentración de la fibra y grabas en algunas capa, esto a pesar de que la calidad del material según las pruebas realizadas fue la correcta, sin embargo, la cantidad de humedad, así como las variaciones de las características de contenidos de limos, arenas, arcillas y grava, aunado a las condiciones climáticas hicieron variar el grado de compactación y por consecuencia la calidad y resistencia de los muros.

El fraguado de los muros se vio afectado por la cantidad de humedad aplicada y el tiempo para desmontar la cimbra, ya que en el muro A se aplicó la humedad recomendada en la literatura y se descimbro en el mismo día que este se finalizó, sin embargo, la evaporación de la humedad fue inmediata, favoreciendo a la aparición de las grietas, mientras que a los muros B y C, se les aplico una mayor cantidad de humedad y el descimbrado se llevó acaba trascurridas 12 y 24

horas, respectivamente. Favoreciendo al fraguado de los muros y retrasando la aparición de las grietas en las superficies de los muros, como se ve en la figura 102.

Figura 102.

Resultado de los tres muros descimbrados.



4.2.1 Comportamiento Térmico de los Muros

Como se observa en la figura 103, los muros de tierra con una dimensión de 40 cm reducen la conductividad del calor, esto quiere decir que aumenta recíprocamente su resistencia, o sea que la energía tarda más en llegar de un extremo al otro, generando un fenómeno conocido como inercia térmica, lo cual significa que el calor se absorbe y se almacena para después liberarlo gradualmente, favoreciendo al confort térmico dentro de una vivienda construida con este sistema, es una de las principales características de la construcción con tierra, como ya se había mencionado por Minke (2005).

Resultando con mayor resistencia el muro de tapia C, con un aproximado de 12%, seguido del B y A, entre 10% y 6% respectivamente, en comparación a la construcción con concreto, block y ladrillo, siendo valores menores a 1.5%, esto significa que son materiales que transmiten una mayor cantidad de calor, debido a sus composiciones químicas, físicas y espesores,

reduciendo el tiempo de liberación del calor al interior de una vivienda. Es por eso que la tierra se considera como un buen aislante térmico que se puede adaptar a climas fríos y calurosos.

Figura 103.

Comparación de la resistencia térmica de los muros.



4.2.2 Comportamiento Físico de los Muros

4.2.2.1 Aislamiento Acústico.

De acuerdo a los datos y en función de los decibeles generados por las diversas actividades realizadas en el entorno se pueden considerar tres niveles acústicos que están presentados en la figura 104, bajo, normal y alto, una vez que se pasa de este nivel dado por 120 dB, se dice que es extremo y peligroso, si consideramos un sonido alto en exterior de 100 dB, el muro A es el que tiene mayor aislamiento, quedando una percepción al interior alrededor de 45 dB, lo mismo sucede con los muros B y C, cuyos valores van de 46 y 47 respectivamente, quedando todos en el nivel bajo de percepción acústica.

Sin embargo, en el caso de los muros de concreto y block quedan por encima de los 50 dB, pasando al nivel normal y en el caso del ladrillo se mantiene en la frontera entre el nivel bajo y el normal, esto quiere decir que entre mayor sea este factor de la masa, se reducirá la cantidad de ondas sonoras, y los muros de tierra son los que tiene mayor reducción de las mismas, generando ambientes interiores que se encuentran dentro de lo normal, como se explicó en el párrafo anterior.

Figura 104.

Comparación del comportamiento acústico de los muros.



4.2.2.2 Resistencia al Fuego.

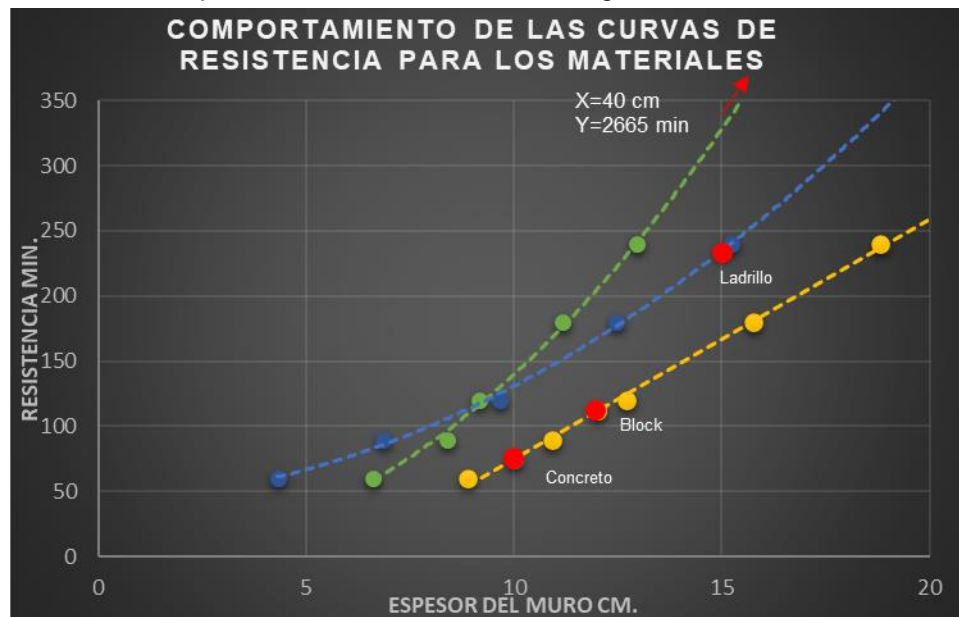
Como se observa en la figura 105, las curvas de resistencia al fuego tienen diferentes comportamientos de acuerdo al material, en el caso de los muros de tapia, la curva prolongada (en color verde), ya que su resistencia es mayor a los 2,500 minutos, convirtiendo a este material en uno de los que mejores se comportan, ya que las curvas que corresponden al concreto y al block, la cual tiene un comportamiento lineal (color naranja), ya que su resistencia va desde los

75 a los 112 minutos respectivamente, finalmente los muros de ladrillo tienen un comportamiento regular en su curva (color azul) , presentando una resistencia de 235 minutos.

A diferencia de las estructuras de concreto, block o ladrillo que al exponerse a las altas temperaturas pierden resistencia a la compresión, presenta agrietamientos y desprendidos, además de cambiar de color, los muros de tierra se mantienen sin consumirse, y las afectaciones mayores sean en las instalaciones y el techo.

Figura 105.

Análisis del comportamiento a la resistencia al fuego de los materiales.



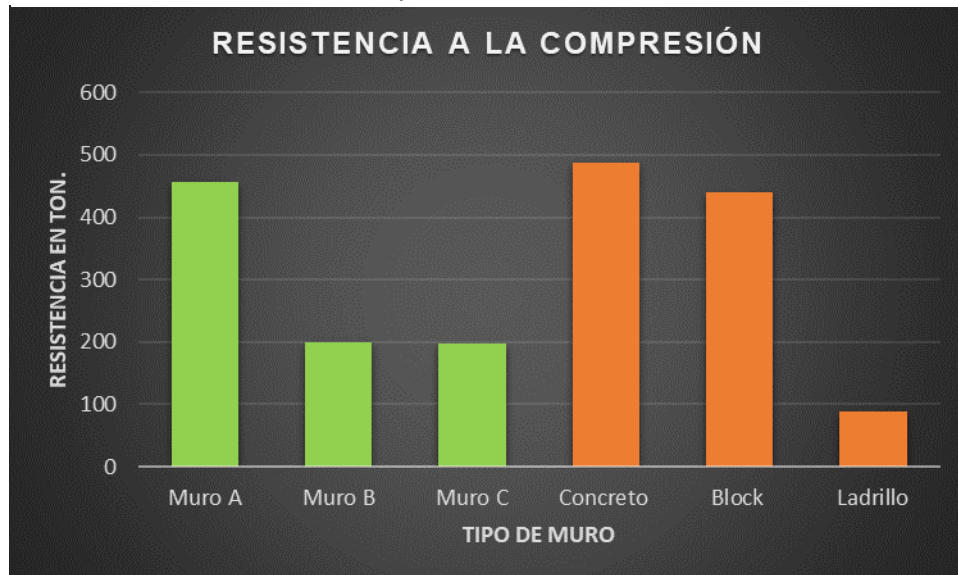
4.2.3 Comportamiento Estructural

Considerando que la construcción de los muros se realizara de manera simple, es decir sin elementos adicionales como dalas y castillos, el muro con mayor resistencia estructural total aplicada en su superficie sería el de concreto con una resistencia de 488 T, le seguiría el muro A de tapia con 456 T, esto significa que el de concreto tiene una capacidad del 111% comparativamente, sin embargo los tipo B y C tienen resistencias alrededor de 200 T, siendo el

44% de la resistencia del muro A. Asimismo el muro de block con 439 T representa el 96% y el de ladrillo con 87 T representa el 19%, como se observa en la figura 106.

Figura 106.

Análisis de la renitencia a la compresión de los muros.

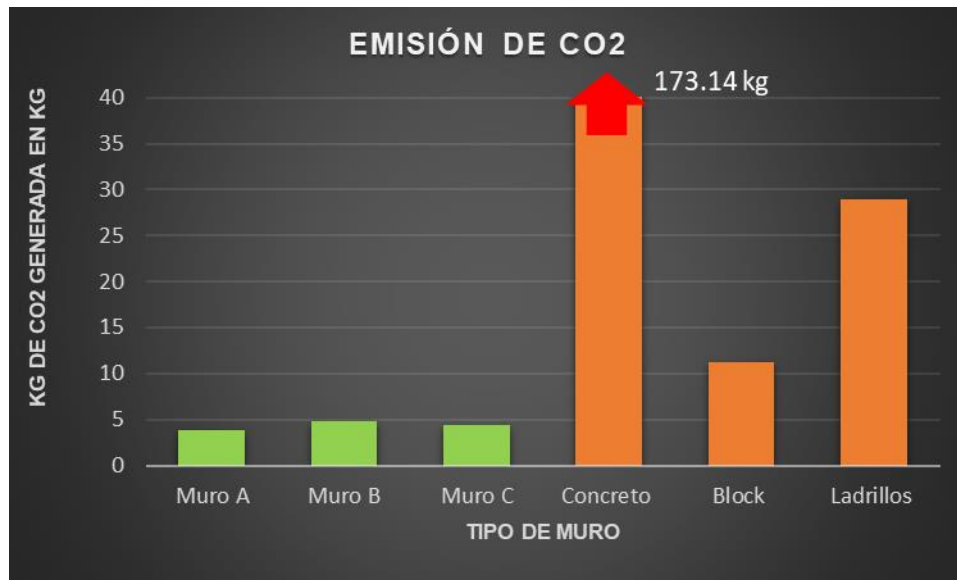


4.2.4 Emisión de CO₂

Como se muestra en la figura 107, los muros de tierra no emiten más de 5 kg de CO₂ por elemento, considerando que la mayor emisión de CO₂ es el concreto con 173.14 kg, seguido del muro de ladrillo con 28.9 kg y el block con 11.2 kg, podemos decir que comparativamente con la tapia, el concreto es 3460% más contaminante, el block 578%, y el ladrillo 224%.

Figura 107.

Análisis de la emisión de CO₂ de los muros.



4.2.5 Reducción de los Costos de la Edificación

Los costos de la construcción de muros de tierra en comparación a los muros de materiales convencionales sufren de una reducción relevante, esto debido a que el costo de mano de obra calificada no es necesaria, sin embargo se contempló la construcción de una cimentación de concreto ciclópeo de piedra para todos los casos con mano de obra calificada, asimismo el principal material se obtiene del sitio producto de la excavación al realizar la plataforma para el desplante de la construcción, los costos comparados en relación al muro A de tapia los muros B y C tienen incremento de 35% y 62% respectivamente debido a los materiales agregados, en el caso de los muros de concreto, block y ladrillo se aumentaron 54%, 119% y 150% respectivamente, como se muestra en la figura 108.

Figura 108.

Análisis del costo de construcción de los muros.



4.2.6 Propuesta de Vivienda

A continuación, de la figura 109 a la 115, se muestra la planta arquitectónica, secciones, fachadas y perspectivas de la propuesta que consta de sala, comedor, cocina, terraza, tres habitaciones y un baño de uso común, con una superficie de 305 m², dicha propuesta se realizó de manera modular al muro de tapia con el que se realizó el presente trabajo de tesis, considerando las mejoras observadas al finalizar dicha investigación.

Figura 109.

Planta arquitectónica

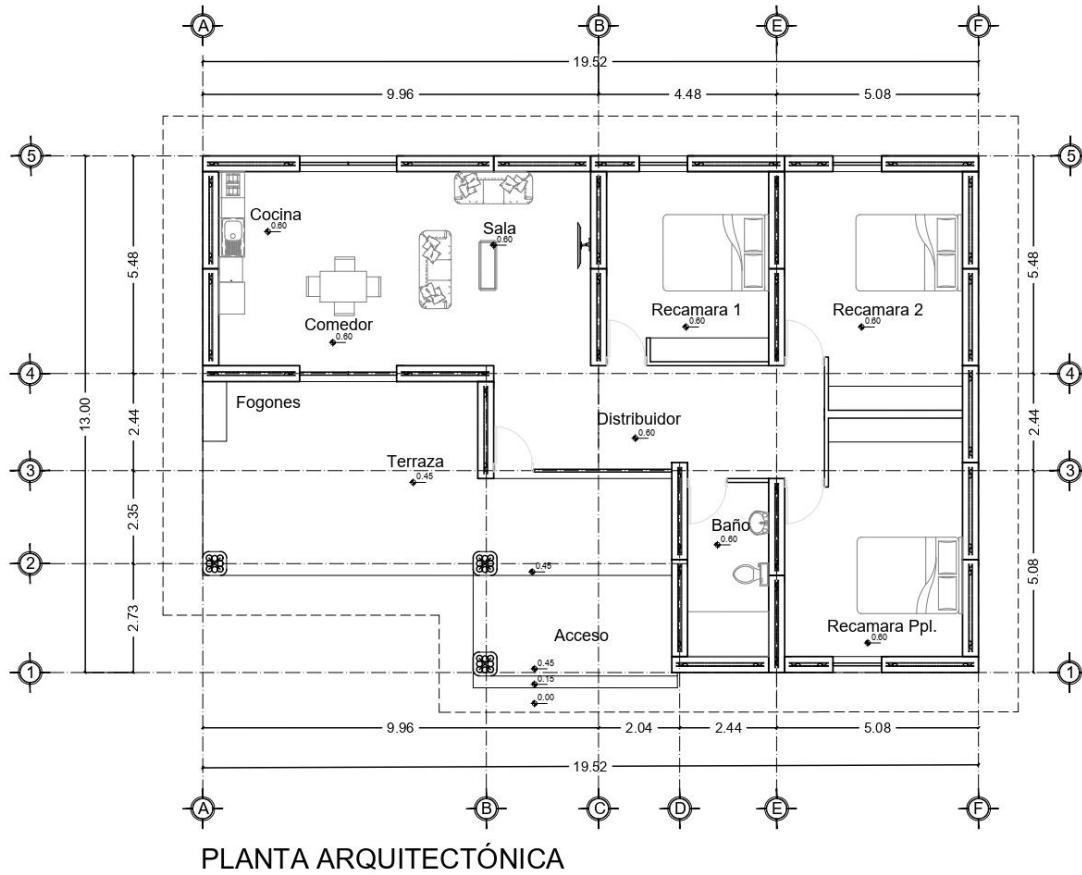


Figura 110.

Fachadas de la vivienda

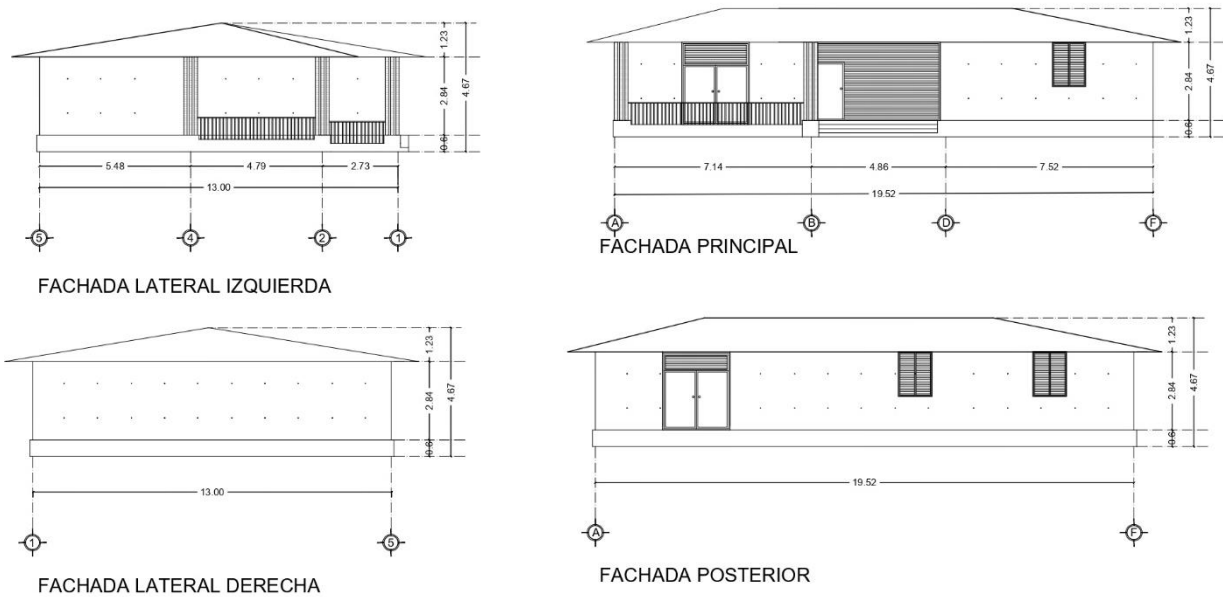


Figura 111.

Secciones de la propuesta.

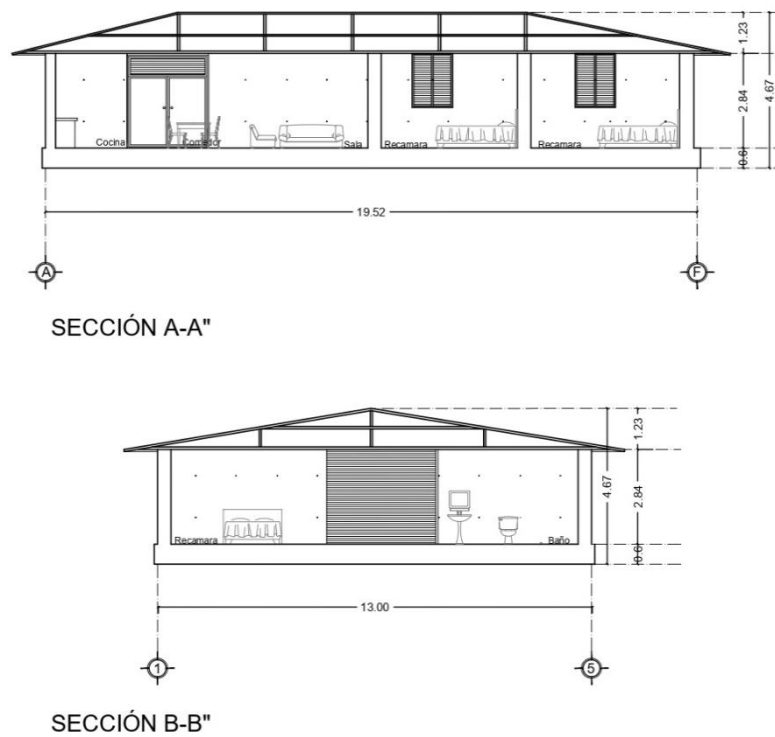


Figura 112.

Perspectiva exterior 01 de la propuesta.



Figura 113.

Perspectiva exterior 02 de la propuesta.



Figura 114.

Perspectiva interior.



Figura 115.

Perspectiva interior 02.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Cumplimiento de los objetivos de la investigación

El objetivo principal de la investigación que menciona: “Diseñar un sistema mixto de tapia y bambú como elemento constructivo para analizar y entender su comportamiento térmico y estructural para construcción de vivienda rural en el estado de Colima”, se cumplió porque fue posible realizar el sistema combinando el bambú y la tapia, sin embargo los resultados del comportamiento físico estructural no fueron favorables ya que la forma en que se colocaron los bambúes dentro del muro presentaron fisuras y grietas, porque la compactación no fue posible realizarla convenientemente.

En relación a los objetivos particulares que mencionan:

- Identificar y caracterizar los materiales a utilizar (tierra y bambú), se logró en su totalidad puesto que fue posible la clasificación por zonas dentro del estado de Colima, dividiéndose para efecto del estudio en dos zonas la del eje Neovolcánico (o zona montañosa), conformado por los municipios de Comala, Cuauhtémoc, parte de Villa de Álvarez y Colima y la zona Sierra Madre del Sur, correspondiente a la costa, conformada por los municipios de Manzanillo, Tecomán, Armería, Coquimatlán, Ixtlahuacán y parte de Minatitlán. Por otra parte, el bambú que fue utilizado en el diseño y construcción de sistema mixto, se localizó en el eje Neovolcánico, en el municipio de Comala, logrando su identificación y clasificación por tipo y dimensiones tanto de diámetro como de altura.
- Fabricar los moldes deslizables para tapia. Se logro parcialmente ya que el prototipo propuesto no se fabricó de acuerdo al diseño por motivos económicos y de tiempo, sin embargo, se hizo una adaptación del mismo, causando afectaciones a los resultados esperados, pues no cumplió con los requerimientos para su optimo

funcionamiento, al momento de hacer el descimbrado, causando desprendimientos significativos en el perímetro de los muros.

- Realizar un análisis teórico del comportamiento térmico, físico, y estructural del sistema. Si se cumplió de forma satisfactoria, ya que fue posible realizar el análisis teórico del comportamiento térmico, resultando que reduce significativamente la conductividad del calor, aumentando su resistencia térmica, o sea que la energía tarda más en llegar de un extremo al otro. Así mismo en el aspecto físico se dividió en dos aspectos, el aislamiento acústico y la resistencia al fuego, de lo que se obtuvo que es un buen aislante acústico en comparación de los muros de concreto, block y ladrillo. Además, su resistencia al fuego es alta alrededor de dos días, mientras que el muro con mayor resistencia estructural fue el “muro de tapia A”, similar a un muro de concreto.
- Realizar el diseño de un prototipo de vivienda, se logró totalmente, porque se obtuvieron los planos arquitectónicos de la propuesta, considerando que es modular y puede ser fácil de utilizarse como un sistema de autoconstrucción en las comunidades rurales.

5.2 Aceptación o Rechazo de la Hipótesis

Dentro de una tesis de investigación es muy importa dar seguimiento a la hipótesis planteada originalmente con el propósito de evaluar el grado de cumplimiento, en este caso hace mención a que: Habiendo estudiado las características de la tierra y el bambú existentes en la zona, es posible diseñar un sistema constructivo mixto para la edificación de viviendas a bajo costo reduciendo el impacto ambiental en el momento de ser producida. Se cumplió de forma cabal y fue aceptada ya que se diseñó el sistema mixto y se construyó el módulo experimental, al realizar el análisis de los costos resulto que se reducen significativamente en comparación de los sistemas de concreto, block y ladrillo, representando un ahorro significativo al ser un sistema

que puede ser realizado por autoconstrucción a bajo costo. El impacto ambiental causado por este sistema es muy bajo ya que se aprovechan los materiales del sitio, reduciendo significativamente las emisiones de CO₂ al construir con tierra, en comparación a los materiales convencionales mencionados anteriormente.

Así mismo, con base a los resultados obtenidos fue posible diseñar una vivienda rural que se considera podrá ser realizada de forma directa y a bajo costo por los miembros de la comunidad.

5.3 Importancia de los Resultados Obtenidos

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la aplicación de un sistema constructivo mixto de tapia y bambú para la edificación de viviendas rurales en comunidades vulnerables del estado es viable, ya que se cuenta con los recursos materiales y humanos, tiene un buen comportamiento térmico, acústico, resistente al fuego, y estructuralmente soporta grandes cargas.

5.4 Aportaciones

- La innovación de un sistema constructivo, cuya fundamentación teórica y práctica obtenida para su aplicación en la edificación en el estado, responda a las necesidades de una vivienda digna, segura y de bajo costo para familias vulnerables.
- Caracterización parcial de los suelos de las regiones costera y montañosa del estado mediante pruebas de campo, que permitieron conocer el tipo de material y su viabilidad para la construcción con tierra.
- Innovación en el diseño de un molde para la construcción de muros de tierra compactada. El cual se puede seguir mejorando para corregir los errores mencionados y obtener mejores resultados en la construcción del muro.

- El diseño de una vivienda modular con el sistema mixto que representa un bajo costo económico.

5.5 Recomendaciones para Continuar con la Investigación en el Futuro

- Se recomienda realizar un diseño de mezclas considerando las características propias de cada material que participara en la mezcla ya que las densidades, el factor de abundamiento y el grado de compactación aplicado en la construcción varían significativamente con las probetas realizadas en el laboratorio.
- En el presente trabajo se realizaron tres módulos con mezclas tomadas de fuentes previas considerando los mejores resultados expuestos por los autores, por lo que sería conveniente probar con otras mezclas, que consideren otras fibras naturales y mayor cantidad de cal e incluso el uso de cemento.
- Otra consideración importante a considerar es la pureza del material, significa que la tierra a emplear debe estar libre de materia orgánica, es decir semillas, hojas, ramas o cualquier otro elemento que afecte su composición.
- Realizar las correcciones del molde procurando que la superficie de contacto con la tierra esté libre de pestañas, ya que estas evitan descimbrar de forma adecuada, causando desprendimientos en el perímetro del muro.
- Aplicar previamente a la madera un desmoldante adecuado que garantice evitar la adherencia del material con la cimbra.
- El bambú se considera como elemento estructural dentro del sistema, gran parte de las fallas obtenidas fue la ubicación del mismo, por lo que es necesario cambiar la colocación del bambú, esta vez colocándolos al centro, en los extremos y encontrados en forma de “S” para que la compactación del material sea eficiente y logre la adherencia y cohesión correcta para su funcionamiento.

- De la misma manera que en las mezclas se observó que el grado de humedad proporcionada por los módulos experimentales fue insuficiente, causando problemas de cohesión en los materiales y fallas en la compactación afectando la calidad del muro.
- Es muy importante en la compactación del material, además del grado de humedad expuesto anteriormente el respetar los espesores de capas, ya que al rebasar los 20 cm entre capas no se logra una correcta compactación y genera zonas de baja resistencia, frágiles y de alta degradación.

5.6 Nuevas Preguntas de Investigación

Dadas las características de gran espesor y densidad media del muro de tapia, ¿cuál es el comportamiento ante los sismos de los muros de este sistema constructivo?

Dadas las características climáticas principalmente las altas humedades y cuantiosas lluvias que caracterizan las diferentes zonas del estado, ¿cuál es el comportamiento de los muros ante las lluvias y la humedad ambiental que se presentan en el estado?

Considerando nuevas mezclas que incluyan otras fibras naturales y cemento ¿se podría mejorar el comportamiento estructural comparativamente con el que no cuenta con esos agregados?

Al realizar las correcciones del molde y respetar el diseño propuesto en este trabajo que considera pueda ser deslizante tanto vertical como horizontalmente ¿podrá ser posible realizar con mayor eficacia y eficiencia los muros de tapia?

Al cambiar la colocación de los bambúes como se recomienda en este trabajo o con otro arreglo propuesto por los nuevos investigadores ¿tendrá mejores resultados en la compactación y cohesión de la tierra con el bambú evitando la presencia de fisuras y grietas?

Ya que actualmente este tipo de muros se están utilizando en construcciones residenciales con fines decorativos ¿el uso de diferentes tipos de tierra cuyas características

físicas y de color sean diferentes, tendrán el mismo resultado de cohesión y homogeneidad estructural?,¿para garantizar la calidad y homogeneidad estructural sería conveniente la utilización de la misma tierra sin cambiar sus características físicas, pero agregando un colorante?

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, P. y Lara, S. (2021). *Ciencias e ingenierías : de la investigación a la innovación*.
- AIS. (2004). Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica*, 90.
- Barros, L. y, & Imhoff, F. (2010). Resistencia sísmica del suelo-cemento postensado en construcciones de baja complejidad geométrica. *Revista de La Construcción*, 9(2), 26–38. <https://doi.org/10.4067/s0718-915x2010000200004>
- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de La Construcción*, 63(523), 5–20. <https://doi.org/10.3989/ic.10.046>
- Cárdenas, A. y, & Sarmiento, J. (2017). *El Tapial Alivianado*. 243.
- Catalán, R. (2017). *Construcción con tierra Reinterpretación de una tradición*. 35.
- Cerrón, T. (2014). *Manual de Construcción de Estructuras con Bambú*. 130. https://issuu.com/sencico_documentosdigitales/docs/manual_de_construccion_de_estructuras_con_bambu
- Chávez, D, Moreno, J, Castellanos, M, Navarro, J, G. L. y A. S. . (2022). *Caracterización de los suelos del estado de Colima para la construcción con tierra mediante pruebas de campo*. 2004, 336–363.
- Chi, D. (2021). *Iluminación Natural a través de Ventanas , Criterios de diseño para climas en Mexico* . (Primera).
- CONEVAL. (2017). *Pobreza municipal 2015 | Colima*. https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Colima/Paginas/pobreza_municipal2015.aspx
- CONEVAL. (2020). *Estadísticas de pobreza en Colima*. <https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Colima/Paginas/principal.aspx>

- Connor, N. (2020). *¿Qué es la Ley de conducción térmica de Fourier? Definición.*
<https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-ley-de-conduccion-termica-de-fourier-definicion/>
- Consejo Nacional de Evaluación de La Política de Desarrollo Social. (n.d.). *Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.* Retrieved March 19, 2022, from <https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/IEPSM/Paginas/IEPDS-2020.aspx>
- Cuchí, A. (1996). La técnica tradicional del tapial. *Primer Congreso Nacional de Historia de La Construcción*, 19–21.
- Dander, O. (2012). Historia de la arquitectura mundial I - Parte I. In *Historia de la arquitectura mundial I* (Red Tercer).
- Doath, P, Hays, A, Houben, H, Matuk, S y Vitoux, F. (1991). *Building with earth* (p. 284).
- Fernando, L., Baca, G., Javier, F., & López, S. (2018). *Tierra vertida compactada , estabilizada con cal y puzolanas.* 1–9.
- Garzón, L y Martins, C. (2007). Investigar, formar, capacitar y transferir. Los grandes desafíos de la arquitectura y construcción con tierra. *Apuntes*, 20(2), 324–335.
<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/8986>
- Gatti, F. (2012). Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en Tierra. *Universidad Politécnica de Catalunya*, 101.
<http://mastersuniversitaris.upc.edu/tecnologiaarquitectura>
- Hidalgo, O. (1974). *Bambú, cultivo y aplicaciones en fabricación de papel construcción, arquitectura e ingeniería.*
- Hidalgo, O. (1981). *Manual de construcción con Bambú, Estudios Técnicos Colombianos* (p. 87).
- INEGI. (2020). *México en cifras.*
<https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=06#collapse-Resumen>
- Krayenhoff, M. (2013). *FORMWORK AND METHOD FOR CONSTRUCTING RAMMIED EARTH WALLS.* 2(12).

- Lepsch, I. (2010). *Formación y Conservación del suelo*.
- López, F. (1999). Tapias y tapias. *Loggia, Arquitectura & Restauración*, 8, 74.
<https://doi.org/10.4995/loggia.1999.5288>
- Martins, C, Borges, O., Rotondaro, R., Cevallos, P. y, & Hoffman, M. (2009). Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra. *Proterra*, 34. <http://www.redproterra.org>.
- Mileto, C.; Vegas F.; Cristini, V. (2012). Refuerzos y mejoras : variantes constructivas de la tapia en España . En XI Conferencia Internacional sobre el Estudio y Conservacion del Patrimonio Arquitectónico de Tierra. In *Pontificia Universidad Católica de Perú*.
<http://hdl.handle.net/10251/55268.%0AThe>
- Ministerio de la Protección Social. (2016). Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal. *CENTRO DE*, 1–40.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107822/tfg_josune_hernandez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio de la Protección Social. (2005). *Construcción de Muros en tapia y bahareque*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, G. de P. (2017a). Diseño y construcción con tierra reforzada NORMA E. 080. In *Resolución Ministerial, el Peruano*. (Vol. 1, p. 24).
https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376#:~:text=La norma se orienta al,confortables y de fácil difusión.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, G. de P. (2017b). *Norma técnica e. 100 bambú*. <https://docplayer.es/15123221-Norma-tecnica-e-100-bambu.html>
- Minke, G. (2001). Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra. *Manual de Construcción Para Viviendas Antisísmicas de Tierra*, 1, 52.
- Minke, G. (2005). *Manual Construcción En Tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual (FIN DE SIG)*. <http://permaconstruccion.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual-Construccion-En-Tierra-Minke.pdf>
- Morán Ubidia, J. (2015). *Construir con Bambú*.

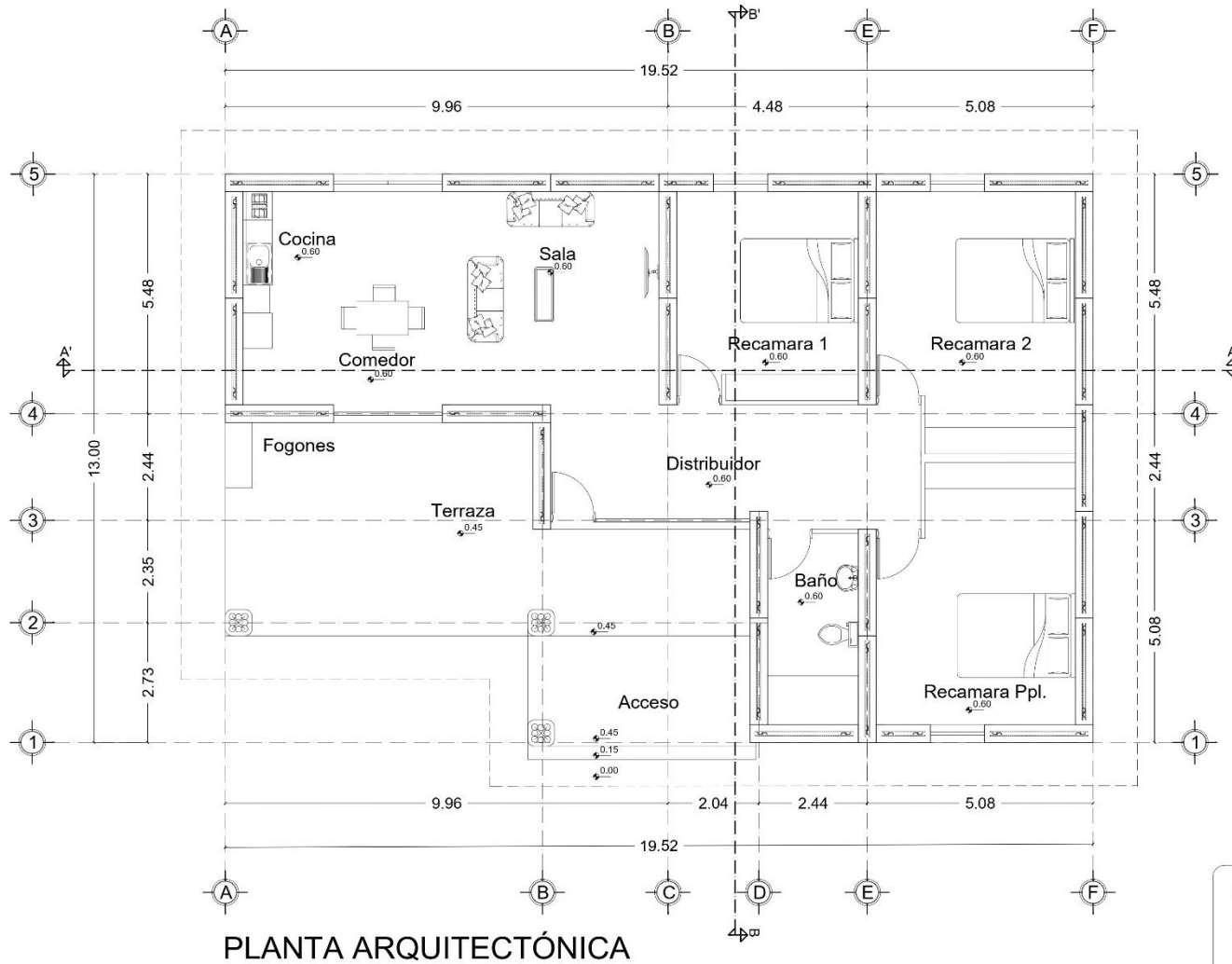
- Morfin, M. (2015). *Modelo de vivienda replicable impulsa la autoconstrucción de comunidades afectadas en Los Cabos, México*. <https://www.archdaily.mx/mx/776342/modelo-de-vivienda-replicable-impulsa-la-autoconstruccion-de-comunidades-afectadas-en-los-cabos-mexico>
- ONU. (2015). *Pobreza -demo Goal layout - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/goal-layout/>
- ONU. (2019). *La población mundial sigue en aumento, aunque sea cada vez más vieja | ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales*. La Población Mundial Sigue En Aumento, Aunque Sea Cada Vez Más Vieja. <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2019.html>
- Ordóñez V, Mejía T, B. G. (n.d.). *Manual para la Construcción sustentable con bambú*.
- Rodríguez, J. L., Castañeda Hernández, C., Cruz, R., & Neria, R. (2020). Diseño de un sistema autoconstructivo a base de tapial y bahareque de bajo costo e impacto ambiental para una vivienda. *Tópicos de Investigación En Ciencias de La Tierra y Materiales*, 7(7), 68–78. <https://doi.org/10.29057/aactm.v7i7.6207>
- Rodríguez, L. M. (2015). El uso del tapial en la arquitectura de las haciendas de Tlaxcala , México. In *Congreso.indb* (pp. 1461–1470).
- Rotondaro, R., Correia, M., Garzón, L., Vargas, J., & Martins, C. (2011). Técnicas de construcción con tierra. In *Técnicas de construção com terra*. https://www.promemoria.indaiatuba.sp.gov.br/arquivos/proterra-tecnicas_construcao_com_terra.pdf#page=16
- Rougero, C. (1977). *Aislamiento Acústico y Térmico en la Construcción*. Editores Técnicos Asociados S. A. https://books.google.com.mx/books?id=l62bH8f9AJYC&pg=PA131&lpg=PA131&dq=ley+de+masa+o+ley+de+Berger&source=bl&ots=8dyxoOMWIN&sig=ACfU3U102fDoKczww_4swZIFjQWQ68UiA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi2q-

GGq7P5AhXILEQIHQwxCukQ6AF6BAhAEAM#v=onepage&q=ley de masa o ley d
Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2021). *Manual de manejo integral del bambú (Guadua angustifolia Kunth). Experiencias en la región Amazonas.*

Técnicas, A.-A. B. de N. T. (1995). Grundstudium-Aufbaustudium-Kontaktstudium auf die Zahnheilkunde angewandt. Diskussionsbemerkungen zu dem Aufsatz von Alb. W. Mayer "Zementierte Schmalspur?" DDZ XXI-1967, Heft 8, S. 386. *NBR 6502/1995*, 21(12), 621–622. <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-ouro-preto/projeto-de-mineracao/nbr-rochas-e-solos-projeto-nbr-65021993/23305343>

6. ANEXOS

Anexo 1. Planta arquitectónica



DESCRIPCIÓN:
 PROPUESTA DE VIVIENDA A BASE DE TAPIA (TIERRA APISONADA) Y BAMBÚ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA RURAL EN COMUNIDADES VULNERABLES DEL ESTADO DE COLIMA, CON LA FINALIDAD DE BRINDAR UN ESPACIO DIGNO PARA LAS FAMILIAS.

TEMA DE TESIS:
 SISTEMA CONSTRUCTIVO MIXTO DE TAPIA Y BAMBÚ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA RURAL EN ZONAS VULNERABLES DE COLIMA

PROYECTA:
 ARQ. DOMINGA ZULEICA CHÁVEZ PÉREZ

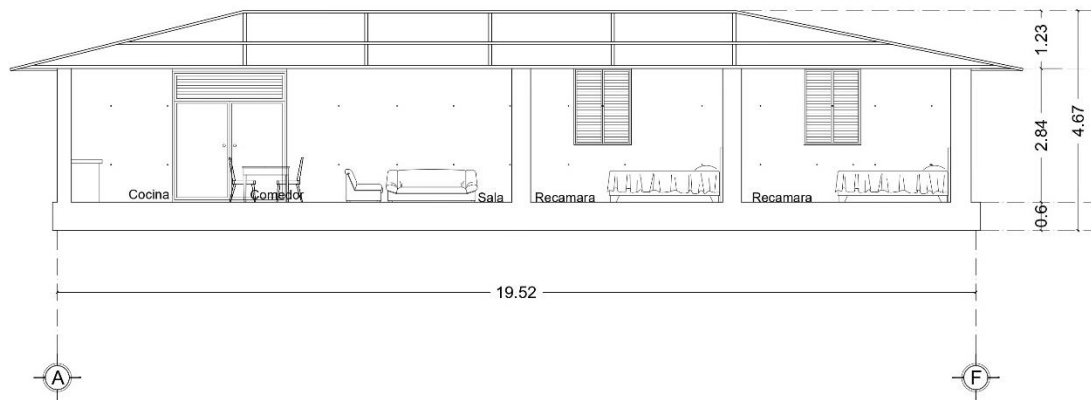
CONTENIDO:
 PLANTA ARQUITECTÓNICA

ACOTACION:
 METROS

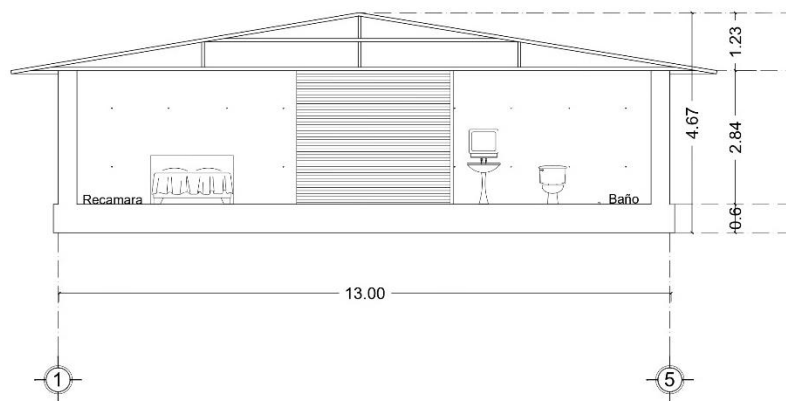
ESCALA:
 1 : 100

Nº. DE LAMINA
01

Anexo 2. Secciones arquitectónicas



SECCIÓN A-A"



SECCIÓN B-B"

DESCRIPCION:
 PROPIETA DE VIVIENDA A BASE DE TAPIA (TIERRA APISONADA) Y BAMBÚ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA RURAL EN COMUNIDADES VULNERABLES DEL ESTADO DE COLIMA, CON LA FINALIDAD DE BRINDAR UN ESPACIO DIGNO PARA LAS FAMILIAS.

TEMA DE TESIS:
 SISTEMA CONSTRUCTIVO MIXTO DE TAPIA Y BAMBÚ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA RURAL EN ZONAS VULNERABLES DE COLIMA

PROYECTA:
 ARQ. DOMINGA ZULEICA CHÁVEZ PÉREZ

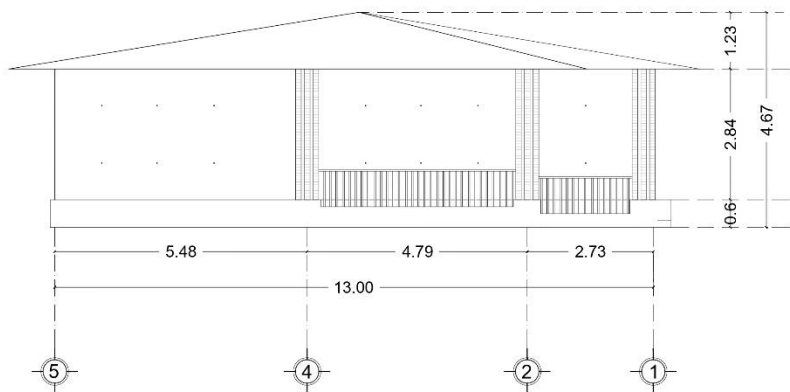
CONTENIDO:
 SECCIONES

ACOTACION:
 METROS

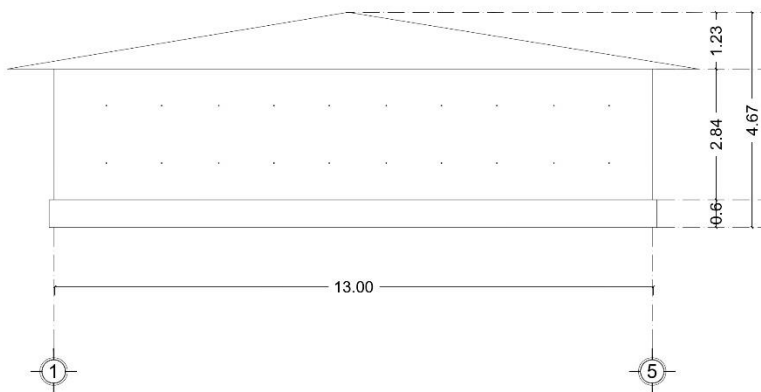
ESCALA:
 1 : 100

Nº. DE LAMINA
02

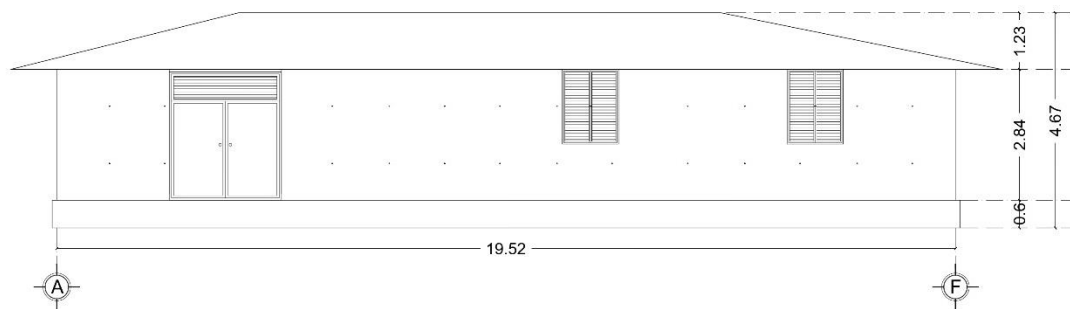
Anexo 3. Fachadas arquitectónicas



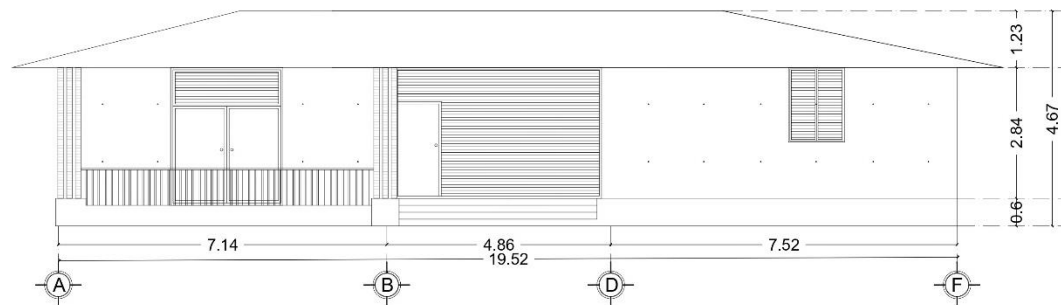
FACHADA LATERAL IZQUIERDA



FACHADA LATERAL DERECHA



FACHADA POSTERIOR



FACHADA PRINCIPAL

DESCRIPCION:

PROPUESTA DE VIVIENDA A BASE DE TAPIA (TIERRA APISONADA) Y BAMBÚ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA RURAL EN COMUNIDADES VULNERABLES DEL ESTADO DE COLIMA, CON LA FINALIDAD DE BRINDAR UN ESPACIO DIGNO PARA LAS FAMILIAS.

TEMA DE TESIS:

SISTEMA CONSTRUCTIVO MIXTO DE TAPIA Y BAMBÚ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA RURAL EN ZONAS VULNERABLES DE COLIMA

PROYECTA:

ARQ. DOMINGA ZULEICA CHÁVEZ PÉREZ

CONTENIDO:

FACHADAS

ACOTACION:

METROS

ESCALA:

1 : 100

Nº DE LAMINA

03