



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

MUROS TIPO BAJAREQUE REFORZADOS CON CAÑA DE MAÍZ Y FIBRA DE TULE

Ana Luisa Hernández Cardona

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, agosto de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MUROS TIPO BAJAREQUE REFORZADOS CON CAÑA DE MAÍZ Y FIBRA DE TULE

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANA LUISA HERNÁNDEZ CARDONA

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de La Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

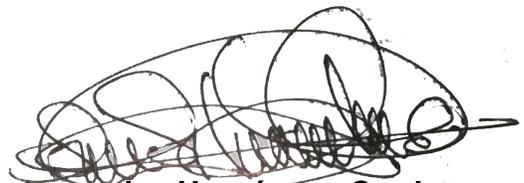
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
EXAMINADORA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MUROS TIPO BAJAREQUE REFORZADOS CON CAÑA DE MAÍZ Y FIBRA DE TULE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 8 de noviembre de 2017.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ana Luisa Hernández Cardona', written over a horizontal line.

Ana Luisa Hernández Cardona



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 16 de enero de 2020

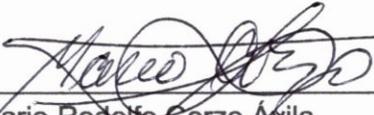
Ingeniero
Wuillian Ricardo Yon Chavarria
Jefe del Área de Materiales de Construcción
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero Yon:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **MUROS TIPO BAJAREQUE REFORZADOS CON CAÑA DE MAÍZ Y FIBRA DE TULE**, presentado por la estudiante Ana Luisa Hernández Cardona, quien se identifica con número de CUI 2271 17034 0101 y registro académico 201114512.

Considero que el trabajo de graduación se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado. Sin otro particular, atentamente




Mario Rodolfo Corzo Ávila
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089


Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
28 de febrero de 2020

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Aguilar.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **MUROS TIPO BAJAREQUE REFORZADOS CON CAÑA DE MAÍZ Y FIBRA DE TULE** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Ana Luisa Hernández Cardona, CUI 2271170340101 y No. De Registro Estudiantil 201114512 quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAR A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Ing. Civil Wuillian Ricardo Yon Chavarría
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles

/mrrm.





Guatemala, 02 de septiembre de 2020
DEIC-TG-EIC-006-2020/paap

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ingeniero Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ingeniero Wuilliam Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación de la estudiante Ana Luisa Hernández Cardona, **MUROS TIPO BAJAREQUE REFORZADOS CON CAÑA DE MAÍZ Y FIBRA DE TULE**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil



Interesado
Asesor
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles





Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102

DTG. 203.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **MUROS TIPO BAJAREQUE REFORZADOS CON CAÑA DE MAÍZ Y FIBRA DE TULE**, presentado por la estudiante universitaria: **Ana Luisa Hernández Cardona**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, septiembre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser una fuente infinita de amor y bondad, que me acompaña y me levanta siempre de mí continuo tropiezo.
- Mí** Por el sacrificio, paciencia y perseverancia; por permitirme tropezar y sobre todo por darme siempre la oportunidad para comenzar de nuevo.
- Mamá y papá** Por su amor incondicional, por compartir conmigo mis más grandes alegrías y tristezas, son mi más grande inspiración para culminar cualquier meta que me proponga. ¡Esta meta también es de ustedes!
- Marcela Hernández y
Jimena Orellana** Por su compañía y afecto.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme el acceso a la educación superior.
Mario Corzo	Por su amistad incondicional, por sus valiosos consejos tanto personales como profesionales. Por permitirme desarrollar esta investigación a su lado.
Raúl Advias	Por su apoyo en la fase experimental de este trabajo de graduación y su amistad.
Amigos de la Facultad de Ingeniería	Por permitirme compartir con ustedes momentos valiosos, que siempre perdurarán en mis recuerdos.
Auxiliares y practicantes de la Sección de Estructuras del CII de 2017	Por su colaboración en la fase experimental de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Origen y desarrollo de las construcciones con tierra	1
1.2. La vivienda en Guatemala	2
1.3. Estudios previos	3
2. CONSTRUCCIONES CON TIERRA	5
2.1. Características y propiedades de la tierra para la construcción	5
2.1.1. Características físicas.....	5
2.1.2. Propiedades mecánicas	6
2.2. Clasificación de las técnicas constructivas con tierra	7
2.2.1. Tierra no procesada.....	7
2.2.1.1. SOD o Panes de hierba.....	7
2.2.1.2. Vivienda troglodita	8
2.2.2. Tierra procesada	9
2.2.2.1. Bolas de tierra.....	9
2.2.2.2. Tapial.....	9
2.2.2.3. Adobe	10

	2.2.2.4.	Entramado	11
	2.2.2.4.1.	Variantes de entramado	12
3.	FIBRAS VEGETALES		15
3.1.	Definición.....		15
3.2.	Clasificación		15
3.3.	Principales fibras en Guatemala.....		17
4.	FIBRA DE TULE		21
4.1.	Descripción botánica		21
4.2.	Caracterización del sistema de cultivo de la planta <i>Cyperus Canus</i>		22
	4.2.1.	Zonas de cultivo en Guatemala	22
	4.2.2.	Cultivo	22
	4.2.2.1.	Reproducción	23
	4.2.2.2.	Preparación de la tierra	23
	4.2.2.3.	Cuidado y manejos del cultivo	24
	4.2.2.4.	Cosecha	25
	4.2.2.5.	Poscosecha.....	26
5.	CAÑA DE MAÍZ.....		27
5.1.	Características de la caña		27
5.2.	Cultivo de maíz.....		28
5.3.	Producción y uso en Guatemala		29
	5.3.1.	Producción	29
	5.3.2.	Épocas de siembra.....	30
	5.3.3.	Variedades de maíz.....	30

5.3.4.	Localización de cultivo de maíz según variedades	31
5.3.4.1.	Zona con humedad favorecida	31
5.3.4.2.	Zona de humedad limitada	31
5.3.4.3.	Zona del altiplano	32
5.3.5.	Uso del maíz	33
5.3.6.	Residuos de la caña	35
6.	ENSAYOS DE MURO	37
6.1.	Ensayo de muro a compresión	37
6.2.	Ensayo a corte en prismas de mampostería	38
6.3.	Resistencia a la compresión de mortero	39
7.	MATERIALES Y EQUIPOS	41
7.1.	Materiales	41
7.1.1.	Suelo	41
7.1.2.	Arena	43
7.1.3.	Caña	43
7.1.4.	Fibra de caña	44
7.1.4.1.	Método manual	44
7.1.4.2.	Método con molino	47
7.1.5.	Fibra de tule	48
7.2.	Equipo	48
7.2.1.	Molino de martillo	48
7.2.2.	Balanza	49
7.2.3.	Molde de acero	49
7.2.4.	Tamizadora y tamices	49
8.	METODOLOGÍA	51

8.1.	Ensayo de fibra de tule a tensión	51
8.1.1.	Preparación de la muestra	51
8.1.2.	Procedimiento de ensayo	52
8.2.	Ensayo de columna a compresión	55
8.2.1.	Preparación de la muestra	55
8.2.1.1.	Procedimiento empleado en el tratamiento de la caña de maíz	55
8.2.1.2.	Procedimiento para la elaboración de un paquete de cañas	57
8.2.1.3.	Procedimiento para el armado de columna	60
8.2.2.	Descripción del ensayo	61
8.3.	Ensayo a compresión de mortero usando especímenes cúbicos	63
8.3.1.	Proporción de la mezcla	63
8.3.2.	Preparación de la muestra	63
8.3.3.	Descripción del ensayo	63
8.4.	Ensayo a corte de prisma de mampostería	67
8.4.1.	Preparación de la muestra	67
8.4.2.	Descripción del ensayo	68
8.5.	Ensayo de muro a compresión	70
8.5.1.	Preparación de la muestra	70
8.5.1.1.	Armado de muro propuesto	70
8.5.1.2.	Preparación de mezcla y repello del muro	73
8.5.2.	Descripción del ensayo	78
9.	DATOS OBTENIDOS	81
9.1.	Ensayo de fibra de tule a tensión	81

9.2.	Ensayo de granulometría de la fibra de caña	94
9.3.	Ensayo de columna a compresión.....	95
9.4.	Ensayo de compresión de mortero usando especímenes cúbicos	96
9.5.	Ensayo de corte de prisma de mampostería	97
9.6.	Ensayo de muro a compresión	98
10.	CÁLCULOS EFECTUADOS	101
10.1.	Resistencia de la fibra de tule a tensión	101
10.1.1.	Ensayos de resistencia de una fibra suelta	102
10.1.1.1.	Ensayos de tres fibras trenzadas.....	103
10.1.2.	Ensayo de trenzado con cuatro fibras	105
10.1.3.	Ensayo de cinco fibras trenzadas	106
10.1.4.	Ensayo de trenzado con seis fibras	107
10.2.	Granulometría de la fibra de caña	108
10.3.	Resistencia de la columna propuesta a compresión	109
10.4.	Resistencia del mortero a compresión	110
10.5.	Resistencia a corte de prisma de mampostería.....	111
10.6.	Resistencia del muro a compresión.....	111
10.6.1.	Análisis teórico de la resistencia del muro a compresión	111
10.6.2.	Análisis de la resistencia del muro a compresión según el ensayo	112
11.	RESULTADOS	115
11.1.	Resistencia de la fibra de tule a tensión	115
11.2.	Resistencia de la columna propuesta a compresión	116
11.3.	Resistencia del mortero a compresión	116
11.4.	Resistencia a corte de prisma de mampostería.....	117

11.5. Resistencia del muro a compresión	117
12. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	119
CONCLUSIONES.....	121
RECOMENDACIONES.....	123
BIBLIOGRAFÍA.....	125
APÉNDICE	129

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Anclaje entre paneles.....	4
2.	Vivienda SOD.....	8
3.	Vivienda troglodita.....	8
4.	Muro de tapial	10
5.	Bloques de Adobe.....	11
6.	Armado de muros tipo Bajareque.....	12
7.	Armado de muro tipo Quincha	13
8.	Armado de muro tipo Torchis.....	14
9.	Espécimen herborizado de la planta <i>Cyperus Canus</i>	21
10.	Planta de tule en un área de cultivo	23
11.	Terreno de cultivo y área natural para el desarrollo de la planta de tule.....	24
12.	Limpia y abonado del cultivo de tule	25
13.	Almacenamiento tradicional de tule en la vivienda.....	26
14.	Detalle de caña de maíz.....	28
15.	Mapa de estimación de producción de maíz por departamento.....	34
16.	Mapa de tasa de pobreza total rural por departamento	35
17.	Ensayo de compresión en muro.....	38
18.	Secado del suelo empleado para el barro.....	42
19.	Tamizado manual del suelo empleado para el barro	42
20.	Inspección visual de la caña de maíz.....	43
21.	Secado de la caña para la elaboración de fibra	44
22.	Corte de la caña para la elaboración de fibra.....	45

23.	Aplastamiento de caña a través del peso propio	45
24.	Tamizado de fibra	46
25.	Fibra obtenida a través del método manual	46
26.	Generación de caña a través del uso del molino	47
27.	Fibra obtenida a través del uso del molino.....	47
28.	Humedecimiento de fibra en la pileta con agua	52
29.	Sistema de ensayo empleado para las propuestas de amarre de tulle.....	53
30.	Incremento de carga durante el ensayo de tensión	53
31.	Medición de la deformación durante el ensayo de tensión	54
32.	Rotura de las fibras en una de las propuestas de amarre de fibra de tulle.....	54
33.	Falla de un sistema de amarre propuesto.....	55
34.	Inmersión de caña en la mezcla de tanino.....	56
35.	Secado de la caña de maíz.....	56
36.	Marcas a cada tercio de la primera caña del paquete.....	58
37.	Primera hilera de cañas del paquete.....	58
38.	Primer amarre del paquete de cañas con fibra de tulle.....	59
39.	Segundo amarre del paquete de cañas con fibra de tulle.....	59
40.	Amarre de cruceta del paquete del cañas con fibra de tulle	60
41.	Detalle de armado de columna	61
42.	Lectura de deformaciones de la columna ensayada.....	62
43.	Sistema empleado para el ensayo de cubos de barro a compresión....	64
44.	Ensayo de cubo de barro a compresión.....	65
45.	Falla del cubo de barro número 4	65
46.	Falla del cubo de barro número 5	66
47.	Falla del cubo de barro número 6	66
48.	Falla del primer panel.....	68
49.	Falla del segundo panel	69

50.	Falla del tercer panel.....	69
51.	Detalle de armado longitudinal del muro propuesto	71
52.	Detalle de armado de columna	71
53.	Detalle de armado transversal del muro propuesto.....	72
54.	Armado de muro propuesto lado uno	72
55.	Armado de muro propuesto lado dos	73
56.	Cernido de arena para la elaboración de barro.....	74
57.	Mezcla de arena y material suelo para elaboración de barro.....	75
58.	Humedecimiento de la mezcla para la elaboración de barro.....	75
59.	Preparación de la mezcla de barro	76
60.	Colocación de la primera capa de barro sobre el lado uno del muro.....	76
61.	Colocación de la primera capa de barro sobre el lado dos del muro.....	77
62.	Colocación de la tercera capa de barro sobre el lado uno del muro.....	77
63.	Alisado de la superficie del muro	78
64.	Gatos hidráulicos empleados para el desarrollo del ensayo de compresión.....	79
65.	Sistema empleado para el ensayo del muro a compresión del muro.....	79
66.	Desarrollo del ensayo a compresión del muro	80
67.	Desarrollo del ensayo a compresión del muro	80
68.	Gráfico esfuerzo deformación de los ensayos de una fibra suelta....	102
69.	Gráfico esfuerzo deformación trenzado con tres fibras.....	104
70.	Gráfico esfuerzo deformación trenzado de cuatro fibras.....	105
71.	Gráfico esfuerzo deformación trenzado con cinco fibras	106
72.	Gráfico esfuerzo deformación trenzado con seis fibras	107
73.	Curva de distribución granulométrica de fibra de caña	108

74.	Gráfico de deformación, columna 1, ensayo de muro a compresión ..	113
75.	Gráfico de deformación, columna 2, ensayo de muro a compresión ..	113
76.	Gráfico esfuerzo deformación promedio columna 1	114
77.	Gráfico esfuerzo deformación promedio columna 2	114

TABLAS

I.	Locales de habitación particulares, según material predominante en paredes exteriores, censo 2018	2
II.	Locales de habitación particulares por área urbana y rural, según material predominante en las paredes exteriores, censo 2018	3
III.	Zonas agroecológicas productoras de maíz en Guatemala	32
IV.	Descripción de los paneles ensayados a corte	67
V.	Primera muestra única fibra seca	82
VI.	Segunda muestra única fibra seca	82
VII.	Primera muestra trenzada con 3 fibras en seco con recubrimiento de pegamento	83
VIII.	Segunda muestra trenzada con 3 fibras en seco con recubrimiento de pegamento	83
IX.	Primera muestra trenzada con 3 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento	84
X.	Segunda muestra trenzada con 3 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento	85
XI.	Primera muestra trenzada con 4 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento	86
XII.	Segunda muestra trenzada con 4 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento	86
XIII.	Primera muestra trenzada con 5 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento	87

XIV.	Segunda muestra trenzada con 5 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento	88
XV.	Primera muestra trenzada con 6 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento	89
XVI.	Segunda muestra trenzada con 6 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento	90
XVII.	Entorchado con 3 fibras en húmedo con recubrimiento de pegamento.....	91
XVIII.	Primera muestra entorchado con 6 fibras en húmedo con recubrimiento de pegamento.....	92
XIX.	Segunda muestra entorchado con 6 fibras en húmedo con recubrimiento de pegamento.....	93
XX.	Ensayo de granulometría de la fibra de caña.....	94
XXI.	Datos obtenidos del ensayo de columna a compresión	95
XXII.	Peso de los cubos de mortero de barro	96
XXIII.	Medidas y promedio de cada lado de los cubos de mortero de barro.....	96
XXIV.	Presión y carga máxima a compresión de los cubos de barro	97
XXV.	Ensayo de corte de prisma de mampostería sobre el panel 1	97
XXVI.	Ensayo de corte de prisma de mampostería sobre el panel 2	98
XXVII.	Ensayo de corte de prisma de mampostería sobre el panel 3	98
XXVIII.	Datos obtenidos del ensayo de muro a compresión	98
XXIX.	Granulometría de la fibra de caña.....	108
XXX.	Resistencia de la fibra de tule a tensión según amarre propuesto.....	115
XXXI.	Resistencia de la columna a compresión.....	116
XXXII.	Resistencia del mortero a compresión	116
XXXIII.	Resistencia a corte de cada panel	117
XXXIV.	Resistencia del muro a compresión	117

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
hp	Caballos de fuerza
ε	Deformación unitaria
σ	Esfuerzo a tensión
g	Gramo
kg	Kilogramo
kg/ cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
lb	Libra
psi	Libra por pulgada cuadrada
m	Metro
mm	Milímetro
in	Pulgada
in²	Pulgada cuadrada
%	Porcentaje
Ton	Toneladas

GLOSARIO

Ápice	Extremo superior de una planta.
ASTM	Sociedad Americana para Ensayo y Materiales (American Society for Testing and Materials).
Culmo	Tallo cilíndrico característico de las especies pertenecientes a la familia de las gramíneas.
DIN	Siglas en alemán del Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung).
Ferrocemento	Material de construcción constituido por un mortero de cemento armado con hilos de acero de pequeño diámetro o con tela metálica de malla fina.
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

RESUMEN

En la presente investigación se desarrolló una propuesta de muro tipo de bajareque constituido por caña de maíz y fibra de tule como elementos principales de refuerzo, como alternativa a la construcción tradicional de mampostería reforzada empleada en Guatemala.

El diseño de muro propuesto se efectuó de manera empírica, con base a documentación bibliográfica sobre construcciones de este tipo; así mismo, se tomó en consideración la disponibilidad de materia prima in situ y la construcción del muro sin necesidad de emplear mano de obra calificada.

Para evaluar el comportamiento estructural del muro y sus componentes, se ejecutaron diversos ensayos mecánicos sobre los elementos que conforman el muro y sobre el muro propuesto, los cuales se enlistan a continuación: ensayo a tensión sobre las propuestas de amarre con fibra de tule, compresión sobre cubos de adobe, compresión sobre una columna, corte sobre paneles de mampostería, compresión de muro. Los ensayos ejecutados se encuentran normados y fueron adaptados a los materiales propuestos y el equipo de laboratorio disponible.

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que el muro planteado es una alternativa viable estructuralmente para la construcción de vivienda de tipo bajareque en el área rural.

OBJETIVOS

General

Evaluar la seguridad estructural de un sistema constructivo de muros tipo bajareque reforzados con caña de maíz y fibra de tule.

Específicos

1. Evaluar el uso de la fibra de tule como sustituto del alambre de amarre.
2. Evaluar la resistencia a la compresión de la mezcla de barro.
3. Evaluar la resistencia a corte en paneles de muro a través de la prueba de corte en prismas de mampostería.
4. Elaborar un muro a escala natural para determinar el comportamiento mecánico de los materiales propuestos a compresión.

INTRODUCCIÓN

Debido a la alta productividad agrícola del país, donde el cultivo de maíz ocupa uno de los principales rubros, se obtiene como subproducto residuos de la planta como tallos y hojas que son en gran parte quemados o usados como alimento de ganado. Según investigaciones sobre la caracterización de la fibra de tule elaboradas en el municipio de San Juan Tecuaco y en la aldea Agua Hedionda, el cultivo de esta planta es una actividad complementaria al cultivo de maíz y frijol. Esta fibra es empleada principalmente por el grupo de mujeres artesanas del lugar, como materia prima para la producción de artesanías como cestos, sopladores y petates.

En el presente trabajo de investigación se propone el uso de la caña de maíz y la fibra de tule como principales elementos de refuerzo para la integración de una propuesta de armado de muro tipo bajareque para uso en vivienda.

Para el desarrollo de la presente propuesta, se estudiaron las propiedades mecánicas de los materiales y del armado de muro, con la finalidad de proveer un sistema de construcción alternativo empleando materiales provenientes de la naturaleza, enfocada principalmente a comunidades de infrasubsistencia del área rural del país.

1. ANTECEDENTES

1.1. Origen y desarrollo de las construcciones con tierra

Debido a la abundancia de tierra en la naturaleza, la humanidad le ha empleado como principal material constructivo a lo largo del tiempo, diversificando su uso a través de distintas técnicas constructivas con la finalidad de satisfacer sus necesidades habitacionales.

Claro ejemplo de construcciones con barro son los cimientos de tierra apisonada ubicados en Asiria que datan del 5 000 a.C., el templo mortuario de Ramsés II ubicada en Egipto y la Gran Muralla China.

Las culturas precolombinas de Latinoamérica emplearon técnicas de construcción de tierra, entre estas destaca la arquitectura maya que empleó la técnica de bajareque para la construcción de viviendas, que aparece reproducida en la fachada del ala sur del cuadrángulo de la Casa de Monjas en las ruinas de Uxmal y vestigios encontrados en las Joyas del Cerén.

Después de la conquista de América, los conquistadores españoles introdujeron técnicas constructivas de adobe cuyos remanentes se observan en lugares como Antigua Guatemala, la Nueva Guatemala de la Asunción, Totonicapán, Quetzaltenango, Chiquimula y Chimaltenango.

El uso del adobe en Guatemala, se vio reducido después del terremoto de 1976 debido a la introducción de nuevos sistemas constructivos como la

fabricación con concretos, estructura de lámina, prefabricados de concretos, entre otros.

1.2. La vivienda en Guatemala

Según información del último censo de vivienda elaborado en el país, los materiales predominantes en paredes exteriores son el ladrillo, block o concreto; sin embargo, aún existe un porcentaje considerable de viviendas que emplean adobe y bajareque.

Tabla I. **Locales de habitación particulares, según material predominante en paredes exteriores, censo 2018**

Material predominante en las paredes exteriores	Viviendas	
	Total	%
Ladrillo, block o concreto	2 552 013	64,74
Adobe	604 600	15,34
Madera	476 307	12,08
Lámina metálica	159 618	4,05
Bajareque	49 197	1,25
Lepa, palo o caña	61 066	1,55
Material de desecho	2 325	0,06
Otro	11 501	0,29
Ignorado	25 415	0,64

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, (INE). *XII censo nacional de población y VII de vivienda*. p. 80.

En la siguiente tabla se observa que los sistemas constructivos como el adobe y el bajareque predominan en el área rural.

Tabla II. **Locales de habitación particulares por área urbana y rural, según material predominante en las paredes exteriores, censo 2018**

Material predominante en las paredes exteriores	Área urbana		Área rural	
	Viviendas	%	Viviendas	%
Ladrillo, block o concreto	752 808	86,16	1 799 205	58,64
Adobe	19 386	2,22	585 214	19,07
Madera	16 059	1,84	460 248	15,00
Lámina metálica	64 985	7,44	94 633	3,08
Bajareque	293	0,03	48 904	1,59
Lepa, palo o caña	2 103	0,24	58 963	1,92
Material de desecho	94	0,01	2 231	0,07
Otro	990	0,11	10 511	0,34
Ignorado	16 986	1,94	8 429	0,28

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, (INE). *XII censo nacional de población y VII de vivienda*. p. 318.

1.3. Estudios previos

En la investigación titulada *Diseño, construcción y evaluación de un elemento constructivo para vivienda utilizando cañas de maíz*, se elaboró una caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de la caña de maíz, como parte de la propuesta del muro de vivienda a base de caña de maíz y ferrocemento.

Dentro de las propiedades mecánicas evaluadas, se determinó que la caña de maíz presenta mejor comportamiento a compresión entre menor sea la

longitud del elemento evaluado; así también, al ensayar las muestras preparadas con paquetes de cañas su comportamiento es similar al obtenido para una caña individual siempre que la longitud de ambos especímenes se constante.

La caracterización física de la caña de maíz, conllevó a establecer que dentro de los especímenes de caña estudiados: la longitud entre nudos varía de 10 a 27 cm, el diámetro se encuentra en un rango de 13,5 hasta 20 mm y cuyo valor disminuye conforme se aleja de la raíz. Debido a estas características, se recomienda el uso de segmentos de caña con longitud de 0,80 hasta 1,20 metros ya que el diámetro de la caña es casi uniforme.

Figura 1. **Anclaje entre paneles**



Fuente: CHIC, Werner. *Diseño, construcción y evaluación de un elemento constructivo para vivienda utilizando cañas de maíz*. p. 30.

2. CONSTRUCCIONES CON TIERRA

2.1. Características y propiedades de la tierra para la construcción

La tierra es un material que su costo no es elevado y se adquiere en cualquier lugar, sin embargo para su uso como material constructivo se requiere que cumpla con determinadas características las cuales se describen en los siguientes apartados.

2.1.1. Características físicas

Minke describe a la tierra como el producto de la degradación mecánica y química del suelo, ocasionada por agentes biológicos y climáticos. Desde el punto de vista de la ingeniería, la tierra es una mezcla de arcilla, limo y arena, esta clasificación de partículas se define en base a su diámetro: aquellas con un diámetro de 0,002 mm se denominan arcilla, entre 0,002 y 0,06 mm limo, entre 0,06 y 2 mm arena, el material de mayor diámetro se denomina como grava y piedras.

Según Minke, se define al barro como la mezcla de una proporción definida de arena, arcilla y agua. Generalmente al barro se le adicionan fibras vegetales para mejorar sus propiedades de retracción y la cohesión de la mezcla, además junto con la arena actúa como un diluyente del contenido de arcilla de la mezcla.

El autor, también define al barro como un mortero cuyo aglutinante es la arcilla y tanto la arena como el limo constituyen agregados.

Experimentación elaborada por el autor, señala que la capacidad aglutinante de la arcilla contenida en la tierra depende de la disposición atómica de los compuestos que la conforman, por lo que aquella con mayor cantidad de cationes presentará una mayor capacidad aglutinante.

Cuando se agrega agua a la arcilla se activa su capacidad aglutinante, el agua queda atrapada entre los cristales de arcilla y, por tanto, se adhiere a estos, lo que facilita el amasado de la mezcla. El autor estableció que al secarse, las partículas de arcilla se van pegando a las partículas de arena. Este proceso puede revertirse al agregar agua a la mezcla.

Así mismo, el volumen de poros presente en los bloques de barro provee mayor capacidad de difusión de vapor y resistencia a heladas.

2.1.2. Propiedades mecánicas

La resistencia a compresión del barro depende de la cantidad y el tipo de arcilla, distribución granulométrica de los agregados, el método de preparación y compactación. Según la normativa DIN 18954, la resistencia a compresión del material seco es del orden de 3 a 5 kg/cm². Experimentación ha demostrado que para el material húmedo este valor disminuye a un aproximado de la mitad de la resistencia en estado seco.

De acuerdo con Minke, las estructuras de tierra no deben someterse a esfuerzos de tracción, por lo que la resistencia a la tracción se considera irrelevante. Así mismo, la resistencia a flexión no tiene demasiada importancia para construcción de tierra; sin embargo, posee cierta importancia para determinar la calidad de los morteros de barro.

Los valores de tensión de trabajo recomendadas por Minke para construcciones de viviendas de una planta son 2 kg/cm² para compresión, 0 kg/cm² para tracción y 0,3 kg/cm² para corte.

En cuanto al módulo de elasticidad del barro, Minke establece un rango de variación entre 59 982,4 a 69 979,4 kg/cm² para materiales secos, valor que disminuye para materiales húmedos hasta 50 985 kg/cm².

2.2. Clasificación de las técnicas constructivas con tierra

Se han desarrollado alrededor del mundo diversas técnicas de construcción con tierra según los materiales disponibles. Para elaborar la clasificación de las técnicas constructivas en esta investigación se tomó como base la clasificación elaborada por Henneberg, cuya descripción se provee en los siguientes párrafos.

2.2.1. Tierra no procesada

En este tipo de construcción se emplea la tierra sin modificar su composición y sin añadir agua.

2.2.1.1. SOD o panes de hierba

Para Henneberg, consiste en una técnica donde se elaboran elementos de construcción del tamaño de un ladrillo, el cual es recortado directamente del suelo cubierto de césped o raíces. Posteriormente, los elementos elaborados son apilados de la misma forma que los ladrillos. Debe preverse que para garantizar la estabilidad de la construcción, los bloques deben ser anchos y de tierra compactada.

Figura 2. **Vivienda SOD**



Fuente: *Sod House Photograph Collection*.

www.specialcollections.wichita.edu/collections/ms/95-20/sh-Smith_Center.html. Consulta: 30 de noviembre de 2017.

2.2.1.2. **Vivienda troglodita**

Según Piedecausa, esta técnica consiste en el acondicionamiento básico del terreno, pudiendo ser a través de la excavación vertical, superficial, horizontal o mixta. Se considera como un tipo de construcción improvisada ya que se emplea la roca del lugar como material base, alterando únicamente la forma del terreno hasta alcanzar su límite estructural dependiendo del tipo de terreno.

Figura 3. **Vivienda troglodita**



Fuente: CORZO, Mario. Vivienda troglodita [correo electrónico]. Mensaje a Ana Hernández. 15 de enero de 2018. Consulta: 17 de enero de 2018.

2.2.2. Tierra procesada

Comprende toda técnica constructiva donde la tierra haya experimentado un proceso de transformación de materia prima en material de construcción.

2.2.2.1. Bolas de tierra

De acuerdo con Henneberg, en esta técnica los muros se construyen con bolas o panes de tierra moldeados a mano en capas sucesivas de aproximadamente 20 cm. La tierra empleada en este sistema constructivo, a veces se mezcla con paja para aumentar su resistencia. La resistencia de este sistema constructivo es baja y presenta fisuras numerosas.

2.2.2.2. Tapial

La técnica del tapial según Minke, consiste en rellenar un encofrado con capas de tierra compactándolas empleando un pisón para elaborar una pared gruesa (con un espesor mínimo de 40 cm). El encofrado empleado está conformado por dos tablonces paralelos separados unidos por un travesaño.

En comparación con otras técnicas que emplean el barro más húmedo, determinó que, la retracción del tapial es mucho más baja y posee mayor resistencia. Al ser una construcción monolítica posee mayor durabilidad.

Así mismo, estableció que el tapial posee la desventaja que la capa superior presenta mayor grado de retracción dado que esta capa es más húmeda que la inferior, lo que conlleva a la aparición de fisuras en la junta de las dos capas. Concluyó además, que existe la posibilidad que el agua capilar se infiltre hacia las juntas, ocasionando humedecimiento y desintegración.

Figura 4. **Muro de tapial**



Fuente: PUERTA, Iván. *Tapial: una técnica antigua muy nueva*.
www.construyediferente.com/tapial-tecnica-antigua-nueva/. Consulta: 30 de noviembre de 2017.

2.2.2.3. Adobe

De acuerdo con las tecnologías de producción empleadas en diversas partes del mundo, Minke indica que los bloques de barro son producidos a través del rellenado o lanzado de barro a los moldes para luego dejarlos secar al aire libre. El proceso de elaboración de los adobes puede ser manual o mecanizada.

Según experimentos desarrollados por Minke, el adobe debe contener una cantidad de arena adecuada que permita desarrollar una alta porosidad para resistir heladas y una alta resistencia a compresión. Asimismo, debe contener suficiente arcilla que permita una manipulación adecuada del adobe.

En la construcción de muros Minke especifica que, los adobes se unen con mortero de barro o mortero elaborado con cal. También pueden unirse bloques

de adobe sin mortero, para ello se sumergen en agua antes de su colocación, posteriormente se colocan y presionan uno contra otro.

Figura 5. **Bloques de adobe**



Fuente: Arkiplus.com. *Bloques de adobe*. www.arkiplus.com/bloques-de-adobe/. Consulta: 30 de noviembre de 2017.

2.2.2.4. Entramado

Para Henneberg, el entramado consiste en un armazón de madera hecha a base de estacas verticales, travesaños horizontales y transversales, se rellena el espacio intermedio con barro. En esta técnica el barro no tiene ninguna función estructural, por tanto, esta función la asume la estructura de madera.

El entramado es una técnica de rápida ejecución en comparación con el adobe y el tapial, de acuerdo con Henneberg debe emplearse en estructuras de no más de dos niveles.

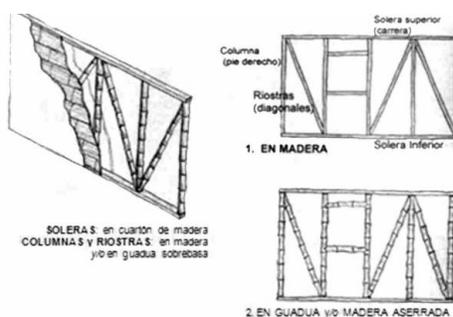
2.2.2.4.1. Variantes de entramado

Las variaciones en las técnicas de entramado existentes radican en el diseño del armazón de madera, la forma de colocar el relleno y los materiales usados tanto en el armazón y el relleno.

En este documento se hará una breve explicación de aquellas clases de entramado que emplean relleno de barro, según la investigación desarrollada por Henneberg.

- Bajareque: se compone por una serie de paralelos verticales de madera, bambú, o una mezcla de ambos, separados entre sí por una distancia no mayor a 30 cm, los cuales se apoyan sobre un tablón de madera que a su vez se apoya en la estructura de cimentación. El marco principal está conformado además por las soleras inferior, superior, y varas horizontales cuya separación oscila entre 7 a 20 cm, que se unen a las columnas empleando clavos o tornillos. El recubrimiento se efectúa con barro en ambos lados del muro.

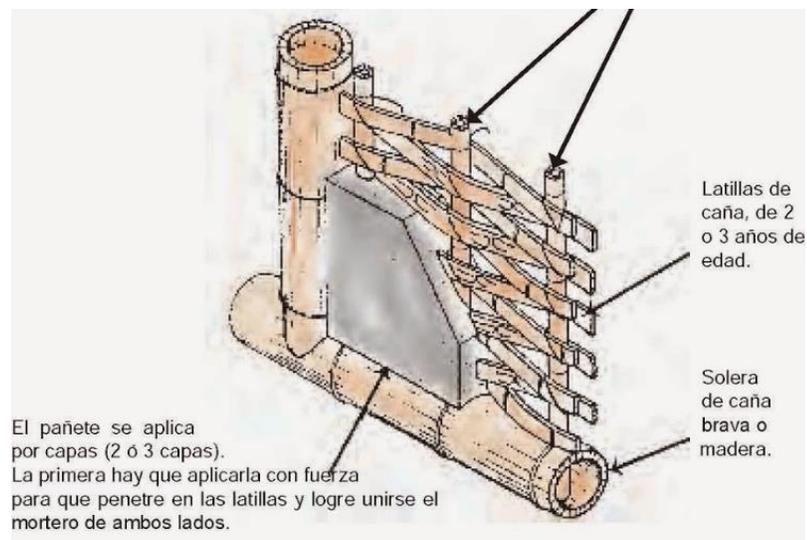
Figura 6. Armado de muros tipo bajareque



Fuente: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). *Construcción de muros en tapia y bahareque.*

- Quincha: se construye empleando postes de bambú u otro tipo de madera resistente colocados directamente en la tierra. Entre los postes se colocan paneles de varas de bambú o cañas tejidas entre sí, este panel se une a los postes con clavos, alambre, cuerda, fibras vegetales o cuero. Se recubren ambos lados empleando una mezcla de barro y paja en una o varias capas, finalmente se le coloca un acabado de yeso o mortero de cemento y arena. Este método puede emplearse para la construcción de muros y techos.

Figura 7. Armado de muro tipo quincha



Fuente: Fundación Ecuador. *La construcción con guadua.*

<https://hacerconbambu.blogspot.com/2014/08/la-construccion-con-guadua.html>. Consulta: 5 de febrero de 2018.

- Torchis: su estructura principal está conformada por dos postes de madera separados 1,3 m entre sí, entre los cuales se colocan varas o maderas horizontalmente a cada 20 cm, y relleno con una mezcla denominada torchis. Esta mezcla, está compuesta de tierra con fibras vegetales, heno o

pelo de animales. La tierra que debe usarse debe estar compuesta por arcilla (5 – 20 %) y arena de río, a veces se le adiciona cal.

Figura 8. **Armado de muro tipo torchis**



Fuente: La Pieve. *Una pequeña arqueología del edificio: una pared de barro.*
<https://lapieve.wordpress.com/tag/demontage-mur-de-torchis/>. Consulta: 2 de febrero de 2018

3. FIBRAS VEGETALES

3.1. Definición

De acuerdo con Galeano, en la botánica se define a las fibras vegetales como los elementos estructurales que conforman los tejidos orgánicos de las plantas, cuya función mecánica es proporcionar resistencia ante los estiramientos y torceduras de la planta con la finalidad de evitar daños en las células de pared delgada de la misma.

En cuanto a su definición económica, Galeano explica que el concepto prioriza los objetivos industriales y comerciales de las fibras. Por tanto, se denomina fibras vegetales al conjunto de raíces, tallos, hojas, secciones o fibras extraídas de ellas para elaborar artesanías o cualquier otro tipo de mercancía; incluyendo el manejo de las plantas productoras de fibras.

3.2. Clasificación

Según Juárez, la clasificación botánica de las fibras vegetales es la siguiente:

- Fibras duras o foliares: de contextura dura y rígida que se extiende a lo largo de hoja.
- Fibras suaves o liberianas: de contextura suave y flexible.
- Fibras cortas o unicelulares.

- Raíces y tallos.
- Palmeras.

Figuroa, Galeano, García y Linares indican que, de acuerdo a su uso, las fibras se clasifican de la siguiente manera:

- Textiles: empleadas para elaborar tejidos, cuerdas y redes. Se divide en tres grupos dependiendo del origen de la planta.
 - Fibras superficiales: conformada por los pelos de la superficie de las semillas.
 - Fibras blandas: son suaves y flexibles, lignificadas o no.
 - Fibras duras: muy lignificadas, duras y rígidas.
- Para elaborar cepillos y escobas.
- Para tejidos trenzados: respecto a su uso se separan en
 - Fibras para sombreros.
 - Estera.
 - Cestería.
- Para relleno de colchones, almohadas o sillas.
- Fibras para elaborar papel.

3.3. Principales fibras en Guatemala

De acuerdo al documento Fibras y otros productos vegetales elaborado en el primer Congreso Internacional de Folklorología, las fibras que se encuentran en el territorio de Guatemala son las siguientes:

- Agaves: de las 300 especies conocidas a nivel mundial, 20 se encuentran en Guatemala. Los principales tipos son el henequén y sisal, que son originarios de América.
 - Henequén: es una especie conocida en Guatemala, aunque también se emplea la planta llamada Furcrea Cabuya. Las plantaciones se concentran en Alta Verapaz y su periodo productivo es de 10 a 15 años. El producto obtenido de esta planta consiste en una fibra rígida empleada para elaborar esteras, bolsas de mano, cepillos, escobas, cordelería y sacos.
 - Sisal (*Agave sisalama*, *Perrinae*): produce una fibra más fina y fuerte que el henequén, es blanca o de color crema. La planta se desarrolla en climas semiáridos, soleados y con suelo permeable.
- Coco: se utiliza la fibra y la cascara para elaborar pitas, lazos, suyates, escobas, alfombras.
- Corajo o corizo: fibra de color pajizo de medida de 2 mm o menos de ancho. Se extrae fibra de las hojas, pero su fuerza no es uniforme. Se emplea para hacer sopladores, escobas duras o suyacales. Debido a que la semilla es rica en grasa se emplea para fabricar jabones y dulces.

- Pita floja: se utiliza para fabricar redes de pesca y cordeles, antiguamente se empleaba para cocer suyacales. Estas se venden en costa del Atlántico, especialmente en Izabal, Puerto Barrios y Livingston. También, se producen tapetes decorativos de pita, hechos en Esquipulas por una cooperativa.
- Zacatón (*Muhlenbergia Macroura*): empleada para confeccionar alfombras pequeñas de piso y cestas redondas con tapa y agarradera de varios tamaños.
- Pajón (*Parieum Jumetaseus*): con su raíz y tallo se confeccionan capillos y escobas las cuales se elaboran en Quetzaltenango.
- Izote (*Yucca elephantipes*): posee una longitud promedio de media vara. Antiguamente, sus hojas se hacían tira para amarrar cualquier objeto.
- Magüey: según la especie, generalmente se emplea para elaborar lazos y sogas. Entre los lugares de producción se puede mencionar San Cristobal Verapaz (Alta Verapaz), Comitancillo (San Marcos), Colotenango (Huehuetenango), San Pedro, San Juan y San Pablo la laguna (Sololá).
- Palma: empleada en artesanías para la elaboración de cestos, muebles, petates, sandalias y juguetes.

Existe gran variedad de palma, dentro de las cuales se puede mencionar el género de las Chamaedoreas y sus diferentes especies.

El cocotero (*Cocos Nucifera Lineaus*) también es de gran importancia, cuyo principal uso es alimenticio tanto del agua como la carne de su fruto. Las plantaciones más importantes se encuentran en Petén y Escuintla.

El aceite de palma es otro de los cultivos importantes en el país, las refinadoras de aceite se localizan en el departamento de Guatemala y las plantaciones más importantes se localizan en Ocós, Coatepeque, Chipó, Retahuleu y La Gomera.

4. FIBRA DE TULE

4.1. Descripción botánica

El tule es una planta cuyo nombre botánico es *Cyperus Canus J. Presl & C. Presl*. De acuerdo con Girón, Lemus y Martínez su descripción botánica es la siguiente: los tallos son triangulares, sin hojas en prácticamente toda la longitud del tallo, con hojas en la zona basal de la planta y en el ápice de los tallos florales. Las flores son verdosas y nacen arracimadas entre las hojas apicales. La floración se produce entre los meses de diciembre a enero. Mientras, Hernández describe a la planta de tule como: rizomas perennes, de 1 a 1,5 metros de alto, 4 mm de espesor en el ápice, 6 a 10 mm de espesor en la base, obtusamente trígono, multirayado, liso o muy minuciosamente áspero, firme; las hojas se reducen a vainas en la base del culmo, de color marrón violáceo.

Figura 9. **Espécimen herborizado de la planta *Cyperus Canus***



Fuente: HERNÁNDEZ, Marlon. *Caracterización del sistema de cultivo del cibaque (Cyperuscanus J.S), diagnóstico y servicios desarrollados en la aldea Agua Hedionda, municipio de San Andrés Sajcabajá, departamento de Quiché, Guatemala, C.A.* p. 35.

4.2. Caracterización del sistema de cultivo de la planta *Cyperus Canus*

Esta planta es generalmente llamada tule o tule de petate, en las siguientes secciones se detalla la información referente a su cultivo según la información recopilada en la investigación *Caracterización organizativa, producción y comercialización de artesanías de tule (Cyperus canus) que realiza el grupo de mujeres artesanas del municipio de San Juan Tecuaco, departamento de Santa Rosa, Guatemala.*

4.2.1. Zonas de cultivo en Guatemala

Crece en sitios húmedos, campos inundados, o a lo largo de bancos de corriente de ríos, sobre todo entre rocas, sitios sombreados o abiertos. Se ha determinado que es bastante escasa en su hábitat natural, con frecuencia es plantada en pequeños parches o campos, sobre todo en la boca costa del Pacífico y cerca de Cobán, Alta Verapaz.

En Guatemala, la planta es empleada principalmente como materia prima para la elaboración de artesanías principalmente para el tejido de petates que son usadas como camas.

4.2.2. Cultivo

En las siguientes secciones se describen las distintas etapas manejo del cultivo empleadas en el medio, que conllevan al crecimiento y desarrollo de planta *Cyperus Canus*. De acuerdo con las fuentes consultadas, el cultivo de esta planta es complementario al del maíz y frijol, además por sus características no requiere del uso de fungicidas y fertilizantes, sin embargo, a través del uso de abono orgánico se ha visto un crecimiento más acelerado de la planta.

4.2.2.1. Reproducción

Se emplean dos métodos para la reproducción de la planta, el método sexual a través de semillas diseminadas por el viento y el método vegetativo por medio de rizomas. La planta rebrota al año en los meses de diciembre, enero y febrero, periodo en el cual están nuevamente listas para la cosecha.

Figura 10. **Planta de tule en un área de cultivo**



Fuente: GIRÓN *et al.* *Caracterización organizativa, producción y comercialización de artesanías de tule (Cyperus canus) que realiza el Grupo de Mujeres Artesanas del municipio de San Juan Tecuaco, departamento de Santa Rosa, Guatemala 2009.* p. 24.

4.2.2.2. Preparación de la tierra

La característica principal que debe cumplir el terreno para el cultivo de tule es que asegure la cantidad anual de agua requerida por la misma, por lo tanto, se emplean tierras pantanosas, ciénagas o vertientes.

De acuerdo con Hernández, para su cultivo se realizan agujeros de 0,75 metros de lado a cada 0,40 metros con una profundidad de 0,20 metros. En cada agujero se introducen 5 rizomas para obtener 5 plantas por agujero

Figura 11. **Terreno de cultivo y área natural para el desarrollo de la planta de tule**



Fuente: GIRÓN *et al.* *Caracterización organizativa, producción y comercialización de artesanías de tule (Cyperus canus) que realiza el Grupo de Mujeres Artesanas del municipio de San Juan Tecuaco, departamento de Santa Rosa, Guatemala 2009.* p. 24.

4.2.2.3. Cuidado y manejos del cultivo

El cultivo se limpia o se deshierba de 3 a 4 veces durante el ciclo de cultivo. La primera limpia se realiza a los 20 días y la segunda al mes y medio de la siembra, las demás se efectúan según sea requerido. Entre los 4 a 5 meses, la plantación se vuelve densa impidiendo la entrada de luz a la parte inferior del cultivo, por lo que se hace necesaria una limpia.

No se aplican insecticidas o fungicidas, debido a que estos productos afectan la calidad de las fibras. En su defecto se abona con desechos orgánicos. Se caracteriza por ser un cultivo familiar, por lo que además se cultiva maíz, frijol, berro, bledo y otras plantas utilizadas como alimento.

Figura 12. **Limpia y abonado del cultivo de tule**



Fuente: GIRÓN *et al.* *Caracterización organizativa, producción y comercialización de artesanías de tule (Cyperus canus) que realiza el Grupo de Mujeres Artesanas del municipio de San Juan Tecuaco, departamento de Santa Rosa, Guatemala 2009.* p. 25.

4.2.2.4. Cosecha

El momento para cosechar los tallos está indicado por el momento cuando el tule termina de florecer, generalmente en un periodo comprendido entre diciembre a marzo.

Durante esta etapa, el productor desprende el tallo del rizoma con la mano, exceptuando los tallos que aún no han florecido. Posteriormente se cortan las hojas ubicadas en la base de los tallos, acción denomina destute; también, deberán cortarse las flores de los tallos o despunte. Los residuos son arrojados al suelo para que sirvan de abono orgánico.

Los tallos cortados deben apilarse sobre un terreno plano con la finalidad de secarlos al sol, generalmente por un periodo de 8 a 10 días, se procede a escoger las mejores fibras de acuerdo a su largo.

Los tallos secos que miden más de 2 metros, son denominados por los productores como de primera y por las artesanas como de pega; estas últimas

debido a que no es necesario colocar otra fibra para producir artesanías, lo que permite obtener artesanías de mejor calidad.

4.2.2.5. Poscosecha

Se procede a dividir el tallo en hebras, cada tallo consiste de tres hebras y su centro o médula llamado corazón o tripa de tule; también conocido como cibaque empleado para amarrar tamales. Para este proceso se emplea una herramienta elaborada con güiscoyol (*Buctris sp*).

Se clasifican las hebras y el cibaque según su longitud, lo que afectará su precio de venta. Después de haber sido clasificados, se envuelven en un nylon para guardarlo en un lugar seco y en alto, con la finalidad de protegerlo de los insectos.

Figura 13. Almacenamiento tradicional de tule en la vivienda



Fuente: GIRÓN *et al.* *Caracterización organizativa, producción y comercialización de artesanías de tule (Cyperus canus) que realiza el Grupo de Mujeres Artesanas del municipio de San Juan Tecuaco, departamento de Santa Rosa, Guatemala 2009.* p. 27.

5. CAÑA DE MAÍZ

5.1. Características de la caña

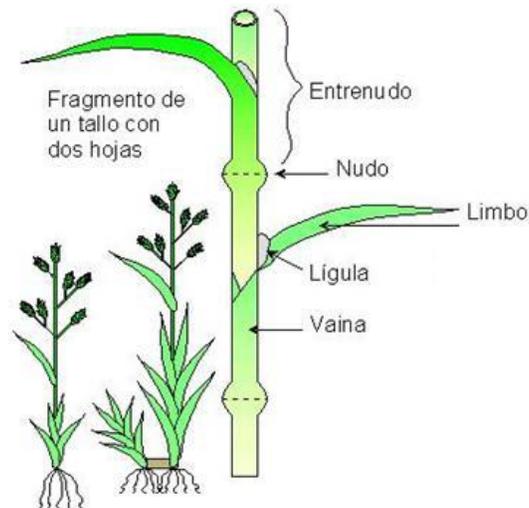
La planta de maíz mide en promedio entre 270 a 290 centímetros, aunque en lugares específicos puede llegar a medir más de 300 centímetros. La planta se conforma por: raíces, tallo, hojas e inflorescencias (masculinas y femeninas).

El tallo de la planta es del tipo carrizo o bambú, se caracteriza por su forma cilíndrica, nudosa y con entrenudos huecos; permite que la planta sea resistente ante fuertes vientos, a sequías o a suelos que no tienen los suficientes nutrientes para su cultivo. El tallo está conformado por tres capas:¹

- **Epidermis:** capa transparente que protege a la planta contra las amenazas de insectos u otras enfermedades.
- **Pared:** capa dura donde transitan las sustancias alimenticias.
- **Médula:** tejido flácido y esponjoso que se encuentra en la parte central del tallo y donde la planta almacena las sustancias alimenticias, especialmente azúcares.

¹ Agricultura.biz. *Maíz*. <https://agricultura.biz/cultivos/maiz/>. Consulta: 14 de enero de 2018.

Figura 14. **Detalle de caña de maíz**



Fuente: Bioayuda. *Familia Gramineas (Graminaeae o Poaceae)*.

www.bioayuda.wordpress.com/tag/plantas/. Consulta: 14 de enero de 2018.

5.2. Cultivo de maíz

El maíz es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia *Gramínea*, *Tribu Mayde* con dos géneros: *Zea* y *Tripsacun*.

Según la investigación desarrollada por Fuentes, el cultivo de maíz es originario de Mesoamérica, donde se cultiva desde tiempos precolombinos. El descubrimiento de América permitió la introducción de maíz a Europa; actualmente, el maíz se cultiva en varias partes del mundo.

El cultivo de maíz se caracteriza por tener una amplia variedad genética y adaptabilidad ambiental. Fuentes indica que, a nivel mundial se siembra en latitudes desde los 55 °N a 40 °S y del nivel del mar hasta los 3 800 m de altitud.

En Guatemala, el cultivo de maíz se concentra en la zona del altiplano, costa suroccidental y nororiental entre altitudes de 0 a 3 000 msnm.

De acuerdo con Fuentes, los tipos de suelos recomendables para el cultivo de maíz son los suelos de textura media, fértiles, bien drenados, profundos y con buena capacidad para retener agua.

Fuentes establece, además, que el rango de temperaturas requeridas por el cultivo de maíz está entre 25 °C y 30 °C, ya que a temperaturas mayores puede tener problemas por inadecuada absorción de nutrientes, minerales y agua.

5.3. Producción y uso en Guatemala

Los siguientes apartados se desarrollan de acuerdo a la información recopilada en la investigación *El cultivo del maíz en Guatemala una guía para su manejo agronómico*.

5.3.1. Producción

El cultivo de maíz en el país se realiza bajo condiciones de temporal, ello genera una fuerte dependencia al ciclo de la lluvia, por lo que una mala distribución de lluvia afecta negativamente el rendimiento de los cultivos.

Según datos del MAGA, se ha establecido que el rendimiento promedio nacional del maíz es bajo (aproximadamente 1,77 t/ha), lo cual se debe principalmente a la falta de acceso a la tecnología, uso de tierras inadecuadas para el cultivo, aumento de la vulnerabilidad al cambio climático, falta de mercado y créditos agrícolas.

Para el año agrícola 2017/2018 se tuvo una producción de 43 031,700 quintales de maíz cosechadas en un área de 1 234,200 manzanas; esta cifra abarca la producción de distintos tipos de maíz, principalmente el maíz blanco. Para el año agrícola 2018/2019 se proyectó una producción de 44 043,400 quintales en un área de cosecha de 1 237,400 manzanas.

5.3.2. Épocas de siembra

En Guatemala, hay dos épocas de siembra, las cuales se efectúan en función del periodo de lluvia de la localidad. La primera siembra es la más importante de ambas, ya que se efectúa en el periodo cuando la lluvia es más abundante y los días son más largos. En cuanto a la segunda siembra, se efectúa en los últimos días de lluvia.

En las zonas de cultivo ubicadas debajo de los 1 400 msnm (zona de trópico) se realiza la primera siembra entre mayo y junio; la segunda siembra se realiza en septiembre.

En las zonas ubicadas por encima de los 1 500 msnm (zona de altiplano), la primera siembra se realiza entre marzo y abril, mientras la segunda siembra se efectúa entre abril y mayo.

5.3.3. Variedades de maíz

El ICTA ha desarrollado diferentes alternativas tecnológicas a través de la aplicación del mejoramiento de maíz; se han creado de esta forma variedades de maíz adaptadas a las diferentes condiciones agroecológicas del país.

Esta tecnología incluye genes que proporcionan tolerancia a determinado estrés clasificado como factor biótico (plagas o enfermedades) o abiótico (sequía, suelos ácidos) que afecte el potencial de rendimiento.

5.3.4. Localización de cultivo de maíz según variedades

Debido a que en el país el cultivo de maíz se desarrolla bajo distintas condiciones agroclimatológicas, el ICTA ha desarrollado una clasificación del área de cultivo de maíz según su ubicación geográfica.

5.3.4.1. Zona con humedad favorecida

La zona de trópico bajo (0 – 1 400 msnm) comprende la zona de mayor producción. Esta zona está compuesta por áreas que presentan una adecuada distribución de la precipitación, abarca: las zonas bajas de San Marcos y Quetzaltenango, Retalhuleu, Escuintla, Santa Rosa, algunas zonas de Jutiapa, Alta Verapaz, Izabal, zona baja de Huehuetenango y Quiché, Petén.

Las características de los cultivos en esta región son alturas correspondientes entre 1,20 a 2,35 metros, y algunos genotipos con tamaños de hasta 4,0 metros; grosores de tallo de 5 a 6 centímetros, y los días de plantación y producción entre 60 a 90.

5.3.4.2. Zona de humedad limitada

Dentro del trópico bajo, existe una zona con limitación de precipitación, se caracteriza por tener periodos de sequía durante el ciclo del cultivo. En esta zona se ubican los departamentos de: Jutiapa, Chiquimula, Jalapa, Zacapa, El Progreso, Baja Verapaz, algunas zonas de Quiché, Huehuetenango y Petén.

En las áreas de mayor sequía la planta de maíz es más frágil y pequeña. Las alturas de la planta comprenden desde 0,90 a 1,40 metros, con grosor de 1,5 centímetros como máximo.

5.3.4.3. Zona del altiplano

La zona del altiplano, se caracteriza por tener mejores condiciones agroecológicas relacionadas con altitud, temperatura y precipitación. Comprende los departamentos de: Guatemala, Sacatepéquez, Chimaltenango, Quiché, Sololá, Totonicapán, Quetzaltenango, San Marcos, Huehuetenango y Jalapa.

Las características de la planta de maíz son: rango de altura entre 1,15 a 2,50 metros, con grosores de tallo de 4 centímetros, tiempo entre plantación y producción de casi 210 días hábiles.

Tabla III. Zonas agroecológicas productoras de maíz en Guatemala

Zona	Área (ha)	%	Altitud (msnm)	Descripción
Trópico con humedad favorecida	301.000	43	0-1 400	Precipitación relativamente uniforme
Trópico con humedad limitada	175.000	25	0-1 400	Precipitación deficiente y errática
Altiplano (Central y Occidental)	224.000	32	1 400-3 000	Precipitación relativamente uniforme

Fuente: FUENTES, Mario. *El cultivo de maíz en Guatemala, una guía para su manejo agronómico*. p. 18.

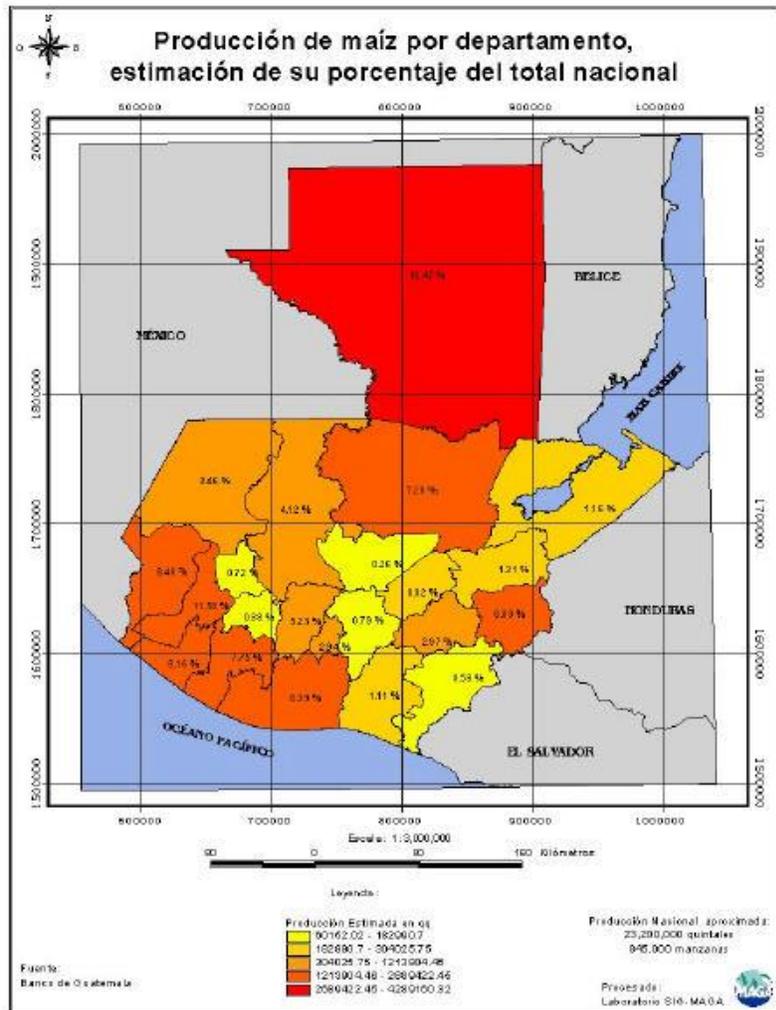
5.3.5. Uso del maíz

El maíz constituye el principal cultivo de granos básicos, debido a que constituye una parte importante de la dieta base de la población guatemalteca dado a su alto contenido energético y de proteínas. En el año de 1999 se estimó un consumo promedio *per cápita* de maíz de 95 kg/ año, valor que llegó a duplicarse para familias con bajo ingreso económico.

El maíz es cultivado en su mayoría por agricultores de infrasubsistencia donde gran parte del producto obtenido es destinado al autoconsumo. Además del consumo humano, los productos y subproductos derivados del maíz son destinados al consumo animal, transformación industrial, etc.

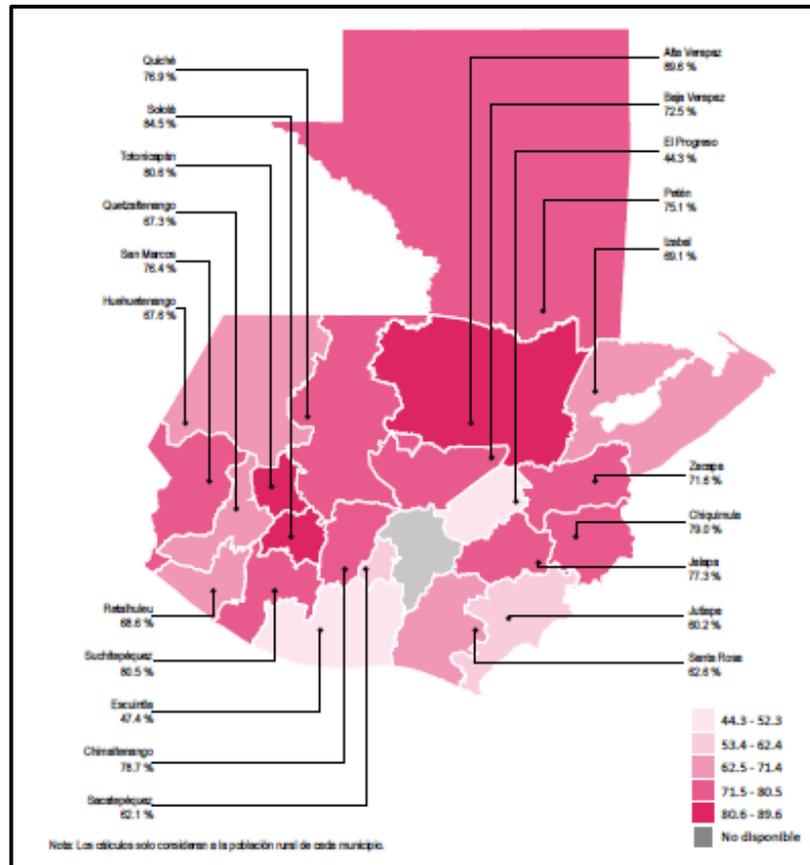
Se observa una correlación entre los departamentos con mayor producción de maíz y aquellos con mayor tasa de pobreza en el área rural, específicamente los departamentos de Petén, Escuintla, Alta Verapaz y Chiquimula, tal como se observa en las siguientes imágenes adjuntas.

Figura 15. **Mapa de estimación de producción de maíz por departamento**



Fuente: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, (MAGA). *Estimación de los daños en el sector agropecuario y consecuencias previsibles, causadas por irregularidades en las precipitaciones en Guatemala. p. 8.*

Figura 16. **Mapa de tasa de pobreza total rural por departamento**



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, (INE). *Mapas de pobreza rural en Guatemala 2011*. p.7.

5.3.6. Residuos de la caña

El grano de maíz representa aproximadamente la mitad del peso de una planta cosechada y la otra mitad corresponde a los residuos, compuestos por caña, hojas, mazorca y demás partes de la planta.²

² VERA, Raúl. *Residuos del cultivo de maíz*. <http://www.pasturasdeamerica.com/utilizacion-forrajes/residuos-agricolas/maiz/>. Consulta: 20 de enero de 2018.

Se produce aproximadamente entre 20 y 35 toneladas de residuos por hectárea, por lo que en Guatemala existe una gran disponibilidad del residuo dejado después de cada temporada de cosecha.

En el país, generalmente se queman los residuos debido a que es la manera más económica de deshacerse de estos residuos y de esta forma despejar el terreno para la próxima cosecha; sin embargo, esta no es práctica ambientalmente aceptable.

La tusa es empleada como envoltorio de alimentos: tamales, quesos, entre otros.

Otro posible aprovechamiento, consiste en el uso de los residuos para el alimento de ganado.

6. ENSAYOS DE MURO

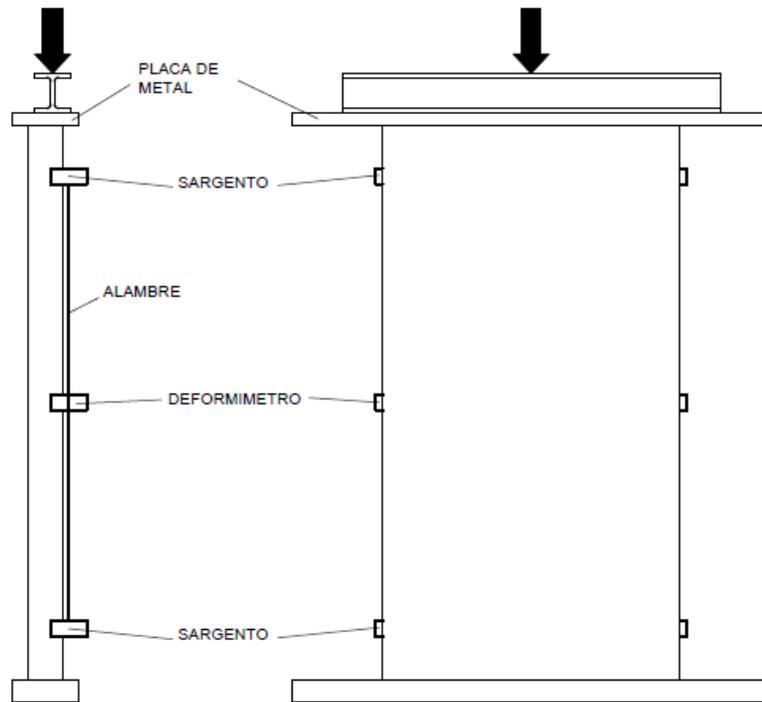
6.1. Ensayo de muro a compresión

La norma ASTM E 72 especifica que la muestra de ensayo debe ser representativa del material y la técnica constructiva aplicable con la finalidad de obtener un resultado que se aproxime al uso que tendrá en la construcción. En cuanto a las dimensiones, la altura deberá ser aquella que posea el elemento en la construcción en cuanto al ancho deberá ser aquel que contenga varios elementos receptores de carga para simular el comportamiento que tendrá el elemento bajo cargas de servicio.

La carga de compresión se aplica sobre una placa de metal que se coloca sobre la cara superior del elemento de ensayo, con la finalidad que la carga se distribuya uniformemente a lo largo de toda la superficie. La carga deberá incrementarse en intervalos que permitan determinar el comportamiento de la muestra, tomándose una lectura de la deformación al aplicar la carga y posteriormente una lectura cinco minutos después de aplicada la carga.

Para la medición de la deflexión lateral deberán colocarse dos deformímetros en cada esquina del muro como se muestra en la imagen. El cálculo de la deflexión lateral se determina a través de la diferencia entre la lectura cuando se aplica la carga y la lectura inicial.

Figura 17. **Ensayo de compresión en muro**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

6.2. Ensayo a corte en prismas de mampostería

La prueba mide la resistencia a tracción diagonal de un ensamblaje de mampostería en laboratorio; la carga se aplica a lo largo de una de sus diagonales que da como resultado que la muestra se fracture paralelamente a la dirección de la carga.

El tamaño nominal de cada muestra no debe ser menor de 1,2 m x 1,2 m por el espesor del tipo de pared que se ensaya. La altura y el largo de cada muestra debe estar dentro de los 6 mm de diferencia entre uno y otro.

6.3. Resistencia a la compresión de mortero

El método de ensayo descrito en la norma COGUANOR NTG 41003 h4, cubre la determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, se utilizan especímenes cúbicos de 50 mm.

Para la elaboración de los especímenes de ensayo, se emplea un molde con 8 comportamientos de 50 mm de altura los cuales se deben llenar en 2 capas de 25 mm; cada capa se apisona mediante 8 golpes en cada lado del cubo; se procede a nivelar la superficie de los cubos empleando una paleta con hoja de acero.

Los especímenes se almacenan en un cuarto húmedo, dentro del molde hasta las 24 horas de edad; posteriormente, se sumergen en agua saturada con cal hasta el día de su ensayo.

Los cubos se ensayan a compresión en las siguientes edades: 24 horas, 3 días, 7 días, 28 días. El dato que debe registrarse es la carga máxima indicada por la máquina de ensayo. La resistencia a compresión se calcula como la relación de carga con el área de la superficie cargada de la muestra.

7. MATERIALES Y EQUIPOS

7.1. Materiales

En esta sección se describen las características de los materiales empleados y su preparación previa a la elaboración de los elementos estructurales que conformaron el muro propuesto.

7.1.1. Suelo

Debido a que la presente tesis plantea el diseño de una propuesta de muro tipo bajareque que pueda ser construido de forma empírica utilizando suelo aledaño a la vivienda, se recomienda el uso de suelos con bajo contenido de material orgánico.

El suelo empleado para la elaboración del muro propuesto fue extraído de un banco de materiales cerca del área donde se desarrolló la fase experimental. Previo a su uso para la elaboración del barro, el suelo fue secado al sol y posteriormente fue tamizado manualmente empleando un tamiz de 1" con la finalidad de eliminar las rocas de mayor tamaño.

Figura 18. **Secado del suelo empleado para el barro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Tamizado manual del suelo empleado para el barro**



Fuente: elaboración propia.

7.1.2. Arena

La arena empleada para la elaboración del muro propuesto fue extraída de un banco de materiales cerca del área donde se desarrolló la fase experimental. Previo a uso para la elaboración del barro, la arena fue secada al sol y posteriormente fue cernida manualmente para eliminar las piedras y otros escombros indeseados.

7.1.3. Caña

Para la elaboración de la propuesta de muro, se emplearon cañas con longitudes de 50 cm y de 1 m; se dejaron nudos en ambos extremos. Las cañas empleadas fueron seleccionadas a través de forma visual, ya que se descartaron las cañas apolilladas, con alguna rajadura o aplastamiento.

Figura 20. **Inspección visual de la caña de maíz**



Fuente: elaboración propia.

7.1.4. Fibra de caña

Para la elaboración del barro se añadió fibra de caña con la finalidad de mejorar su adhesividad. Para su preparación se emplearon dos métodos: manual y con molino.

7.1.4.1. Método manual

El procedimiento empleado para su elaboración se describe a continuación:

- Se secaron los trozos de cañas al sol.
- Se cortaron las cañas a un tamaño aproximado de 5 cm.
- Se colocaron las cañas sobre una superficie plana y a través del peso propio se pisan consecutivamente hasta que se genera la fibra.
- Se empleó un tamiz para separar la fibra del resto de la caña.

Figura 21. **Secado de la caña para la elaboración de fibra**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Corte de la caña para la elaboración de fibra**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Aplastamiento de caña a través del peso propio**



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Tamizado de fibra**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Fibra obtenida a través del método manual**



Fuente: elaboración propia.

7.1.4.2. Método con molino

A través de este método se vierte la caña seca en un molino para la generación de la fibra de caña.

Figura 26. **Generación de caña a través del uso del molino**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Fibra obtenida a través del uso del molino**



Fuente: elaboración propia.

7.1.5. Fibra de tule

La fibra de tule fue adquirida en manojos en un mercado local. De la inspección visual de la fibra se constató la falta de homogeneidad de la fibra, sin embargo, en la presente investigación se efectuó una selección aleatoria sobre la fibra de tule.

7.2. Equipo

En este apartado se describe el equipo utilizado para la ejecución de los ensayos mecánicos de los materiales y elementos estructurales que conforman el muro propuesto, las descripciones se tomaron de la investigación *Bloques de tierra compactada estabilizados con aglomerante natural CP*.

7.2.1. Molino de martillo

Se empleó para la elaboración de la fibra de caña de maíz, empleada para la fabricación del barro con el que se repelló el muro.

El molino de martillos, está fabricado de metal; conformado por una tolva, donde se introduce el material a triturar; una cámara de trituración, donde se encuentran ubicados 14 martillos de acero, con dimensiones de 9 cm de largo, 5 cm de ancho y 1 cm de espesor; dentro de esta cámara se encuentra una lámina perforada de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro en cada agujero, que conecta con la salida del material del molino. El molino, para su funcionamiento, está conectado a un motor eléctrico trifásico.

7.2.2. Balanza

Se utilizó para el pesaje de los cubos de adobe. Es una balanza mecánica de precisión, con una capacidad de 2 610 gramos \pm 0,1 gramo de precisión.

7.2.3. Molde de acero

Se utilizaron en la elaboración de los cubos de barro. Estos moldes tienen una capacidad para 3 cubos por molde. Son fabricados según especificaciones de la Norma ASTM C109-1 *Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars*, la que indica que cada compartimiento cúbico debe tener una dimensión de 2 pulgadas por lado; los moldes deben ser separables en no más de dos partes y deben estar hechos de un metal duro para que los lados sean lo suficientemente rígidos para evitar ensanchamiento o alabeo.

7.2.4. Tamizadora y tamices

Se utilizaron para la caracterización de la fibra de caña, mediante el ensayo de granulometría.

Los tamices están conformados por un marco de latón y una malla de acero inoxidable, poseen un diámetro de 8 pulgadas. La tamizadora, tiene la capacidad de utilizar tamices de 8" a 12" de diámetro, posee un motor de $\frac{1}{4}$ hp con un temporizador hasta 30 minutos, sus dimensiones son de 21" de largo, 18" de ancho y 47" de altura.

8. METODOLOGÍA

8.1. Ensayo de fibra de tule a tensión

Mediante la ejecución de este ensayo se determinó la capacidad tensil de la fibra de tule, con la finalidad de establecer el tipo de amarre que se utilizará para unir a las cañas de maíz. En las siguientes secciones se describen los procedimientos empleados para la preparación de las muestras y el método para desarrollar el ensayo.

8.1.1. Preparación de la muestra

Para la determinación del tipo de amarre óptimo empleando fibra de tule, se elaboraron ensayos de tensión sobre diversos tipos de amarre planteados. A través del desarrollo experimental de la presente investigación, se obtuvieron las siguientes observaciones:

- Durante la elaboración de los amarres, se constató que la manejabilidad de la fibra aumenta considerablemente al humedecerla. Sin embargo, en el presente trabajo de investigación se elaboraron muestras tanto en húmedo como en seco.
- Las fibras fueron humedecidas empleando una pileta con agua durante un tiempo aproximado de 4 horas, con la finalidad de evitar su pudrición.
- Como se mencionó en el capítulo anterior, la selección de las fibras que conformaron cada muestra se efectuó de manera aleatoria.

- Cada amarre se efectuó aplicando la fuerza adecuada para evitar vacíos entre fibras de tal forma que la muestra quedara lo más homogénea posible, sin llegar a su rotura.
- Previo al desarrollo de cada ensayo, las muestras preparadas se secaron naturalmente al sol.

Figura 28. **Humedecimiento de fibra en la pileta con agua**



Fuente: elaboración propia.

8.1.2. Procedimiento de ensayo

En el ensayo a tensión de la fibra de tule se empleó el sistema mostrado en la figura 29.

El procedimiento empleado en el ensayo consistió en la medición de la longitud inicial de 10 cm, diámetro y peso inicial de la cubeta. Posteriormente, se incrementó la carga a cada 2 libras por medio de arena cuyo peso se midió a través de la balanza de resorte; se tomó lectura de la longitud resultante y a los

dos minutos después de aplicada la carga; se repitió este mismo procedimiento hasta que la muestra llegase a la falla. Para cada propuesta de amarre, se consideró como falla a la rotura de todas las fibras que conformaron dicha propuesta.

Figura 29. **Sistema de ensayo empleado para las propuestas de amarre de tute**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Incremento de carga durante el ensayo de tensión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Medición de la deformación durante el ensayo de tensión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Rotura de las fibras en una de las propuestas de amarre de fibra de tule**



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Falla de un sistema de amarre propuesto**



Fuente: elaboración propia.

8.2. Ensayo de columna a compresión

En esta sección se describen los procedimientos desarrollados para el diseño y la ejecución del ensayo sobre el armado de columna propuesta.

8.2.1. Preparación de la muestra

La preparación de la columna consistió en primera medida en el corte de las cañas a una longitud aproximada de 50 cm, posteriormente se les proveyó tratamiento utilizando tanino para finalmente unir las en paquetes de cuatro cañas utilizando fibra de tule.

8.2.1.1. Procedimiento empleado en el tratamiento de la caña de maíz

Para evitar la degradación por agentes biológicos de la caña de maíz, se empleó una mezcla de tanino elaborada a partir de la planta de izote en agua. El método empleado para su tratamiento fue el de inmersión instantánea.

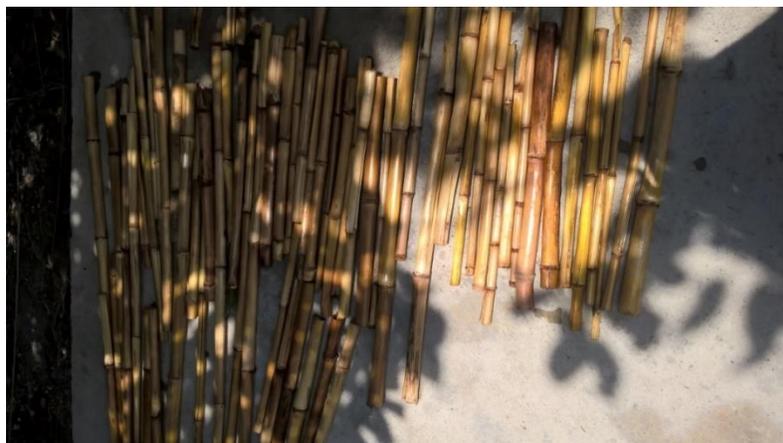
Posteriormente, se dejaron secar las cañas a la intemperie, sobre una superficie plana.

Figura 34. **Inmersión de caña en la mezcla de tanino**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Secado de la caña de maíz**



Fuente: elaboración propia.

8.2.1.2. Procedimiento para la elaboración de un paquete de cañas

El paquete de cañas propuesto consta de tres hileras de cañas amarradas con fibra de tule, el procedimiento empleado se describe a continuación:

- Se seleccionaron cañas con medidas aproximadas de 1 metro de altura.
- Se elaboró una marca a cada tercio de la primera caña que conforma el paquete, con la finalidad de evitar la concentración de los efectos ocasionados por discontinuidad de la caña en un solo punto de la columna.
- La primera caña de cada hilera se coloca según la marca del paso anterior, se colocaron cañas de diámetro similar en cada hilera hasta alcanzar la altura requerida.
- El primer amarre del paquete de cañas se efectuó en cada discontinuidad, este amarre tiene la finalidad de sujetar las cañas en sentido longitudinal y transversal.
- El segundo amarre con tule consistió en formar una cruceta, para tal efecto se efectuaron dos vueltas con tule a una inclinación de 45°; este amarre tiene la finalidad de reducir los efectos por torsión en la columna.

Figura 36. **Marcas a cada tercio de la primera caña del paquete**



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Primera hilera de cañas del paquete**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Primer amarre del paquete de cañas con fibra de tule**



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Segundo amarre del paquete de cañas con fibra de tule**



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Amarre de cruceta del paquete de cañas con fibra de tule**



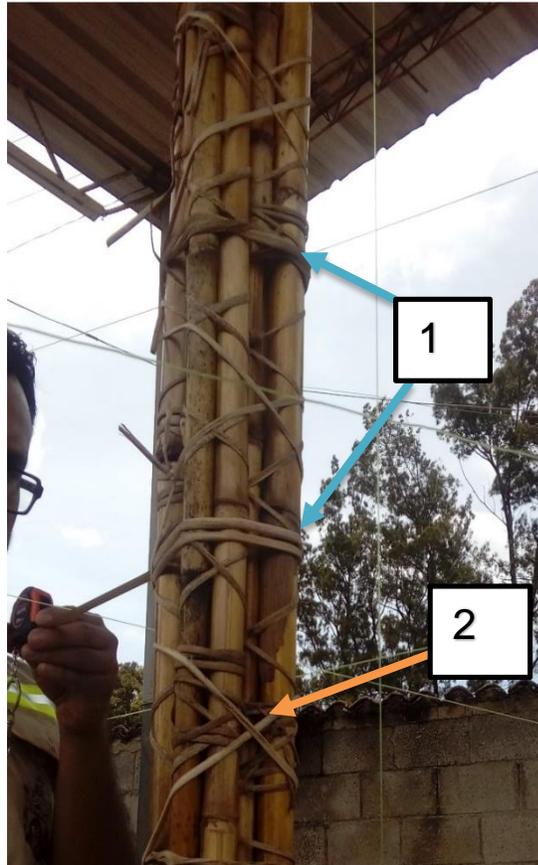
Fuente: elaboración propia.

8.2.1.3. Procedimiento para el armado de columna

La columna propuesta está conformada por cuatro paquetes de caña, unidos, como se especifica a continuación:

- Amarre en cada discontinuidad de paquete, según se observa en el detalle 1 de la figura adjunta (ver figura 41).
- Amarre en forma de cruceta en todos los paquetes de caña, según el detalle 2 de la figura adjunta (ver figura 41).

Figura 41. **Detalle de armado de columna**



Fuente: elaboración propia.

8.2.2. Descripción del ensayo

El procedimiento empleado para el ensayo de la columna a compresión se describe a continuación:

- Se midieron los lados de la columna suponiendo una sección rectangular y la altura final de la muestra.

- Se colocó de la columna según el sistema mostrado en la figura 42, a través del cual se sometió la columna a un esfuerzo de compresión por medio de un gato hidráulico de 10 toneladas y con un área efectiva de 2,24 pulgadas cuadradas.
- Se incrementó la presión a cada 25 psi hasta llegar a la falla de la columna; en cada incremento se tomó la lectura de la deformación en la sección transversal y el eje vertical de la columna según se muestra en la figura 43.
- Se realizaron dos ciclos de carga.

Figura 42. **Lectura de deformaciones de la columna ensayada**



Fuente: elaboración propia.

8.3. Ensayo a compresión de mortero usando especímenes cúbicos

En esta sección se describen los procedimientos desarrollados para el diseño y elaboración de los cubos de una mezcla de barro, los cuales fueron ensayados con la finalidad de determinar la capacidad a compresión de la mezcla propuesta.

8.3.1. Proporción de la mezcla

La proporción final del barro utilizado como repello para la propuesta de muro, se elaboró en base a la experiencia de campo del asesor. La adición de la fibra proveyó mejoras en la mezcla ya que las grietas generadas después del secado disminuyeron en comparación con la mezcla sin fibra.

La proporción volumétrica empleada en la presente propuesta fue la siguiente: 25 % de arena, 60 % arcilla y 15 % de fibra de caña de maíz.

8.3.2. Preparación de la muestra

Se elaboraron 6 cubos de barro empleando la proporción descrita en la sección anterior según el procedimiento descrito en la norma COGUANOR NTG 41003 h4, los cuales se almacenaron en un cuarto a temperatura ambiente durante 28 días.

8.3.3. Descripción del ensayo

A continuación, se describe el procedimiento empleado para el ensayo de los cubos de barro:

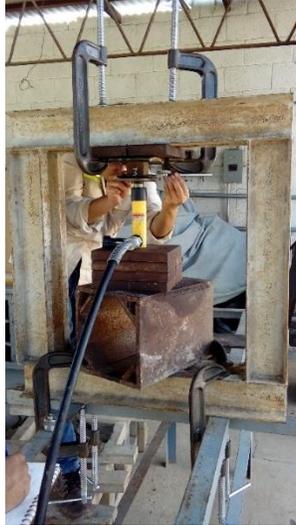
- Se midió el peso y los lados de la sección transversal de cada cubo de mortero.
- Se colocó el cubo según se muestra en el sistema de ensayo de la figura 44, la carga se transmitió por medio de un gato hidráulico de 5 toneladas y una sección transversal de 0,99 pulgadas cuadradas.
- Se aplicó carga hasta la falla del cubo, en todos los cubos se presentó la falla por aplastamiento.

Figura 43. **Sistema empleado para el ensayo de cubos de barro a compresión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Ensayo de cubo de barro a compresión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Falla del cubo de barro número 4**



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Falla del cubo de barro número 5**



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Falla del cubo de barro número 6**



Fuente: elaboración propia.

8.4. Ensayo a corte de prisma de mampostería

En esta sección se describen los procedimientos empleados para la preparación y ensayo de 3 paneles de muro, con la finalidad de determinar su resistencia a corte.

8.4.1. Preparación de la muestra

Las muestras se modelaron de acuerdo al armado del muro y proporción de barro propuestas; estos se repellaron utilizando diversos tipos de mezcla según se describe en la tabla adjunta a continuación:

Tabla IV. Descripción de los paneles ensayados a corte

Muestra	Descripción de la muestra	
Panel 1	Características	Repello de barro con fibra de caña, aplicado en tres capas.
	Peso	18,18 kg
	Dimensiones	50 cm x 100 cm
	Diagonal	99 cm
	Espesor	9 cm
Panel 2	Características	Repello de barro con fibra de caña, aplicado en tres capas.
	Peso	23,86 kg
	Dimensiones	50 cm x 100 cm
	Diagonal	110 cm
	Espesor	10 cm
Panel 3	Características	Repello de barro sin fibra de caña, aplicado en tres capas.
	Peso	12,95 kg
	Dimensiones	51 cm x 91 cm
	Diagonal	90 cm
	Espesor	6 cm

Fuente: elaboración propia.

8.4.2. Descripción del ensayo

Se realizaron ensayos de corte de prismas de mampostería sobre las muestras planteadas en el inciso anterior, el procedimiento empleado para su ejecución se describe a continuación:

- Se midió y pesó de cada panel, procediendo a colocarse en el marco de carga de manera que esquinas opuestas se encontrasen alineadas respecto a la vertical (figura 50).
- Se aplicó la carga gradualmente mediante un gato hidráulico de 5 Ton con un área efectiva de $0,99 \text{ in}^2$, hasta que se observó la falla de la muestra.

Figura 48. **Falla del primer panel**



Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Falla del segundo panel**



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Falla del tercer panel**



Fuente: elaboración propia.

8.5. Ensayo de muro a compresión

En esta sección se detallan todos los procedimientos empleados para la elaboración del muro, así como de la prueba a compresión efectuada sobre el muro.

8.5.1. Preparación de la muestra

La construcción final del muro conllevó varios procedimientos, que se pueden resumir principalmente en la constitución del armado horizontal, anclaje de columnas y revestimiento con barro, los cuales se detallan en los siguientes incisos.

8.5.1.1. Armado de muro propuesto

La disposición final del armado del muro de bajareque propuesto se describe a continuación:

- El marco principal del muro está conformado por cañas de 1 m de longitud colocadas a lo largo de toda la altura del muro, las cuales fueron ancladas a 2 paquetes de cañas para columna, elaborados según las disposiciones de la sección 8.2.1.2: procedimiento de armado de columna, de 2,10 m de longitud por cada lado. (ver figura 41)
- Se colocaron cañas de 50 cm de longitud en sentido longitudinal, ancladas al marco principal por amarres de tipo cruceta con fibra de tule, según se muestra en la figura 40.

- En ambos lados del muro se colocaron tensores de fibra de tule a 45° distribuidos en toda la longitud del muro.
- El armado final del muro se observa con mayor detalle en las figuras 52 y 53.

Figura 51. **Detalle de armado longitudinal del muro propuesto**



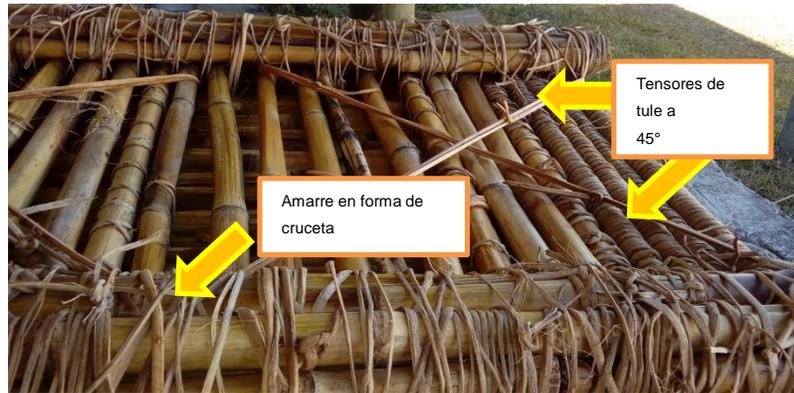
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Detalle de armado de columna**



Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Detalle de armado transversal del muro propuesto**



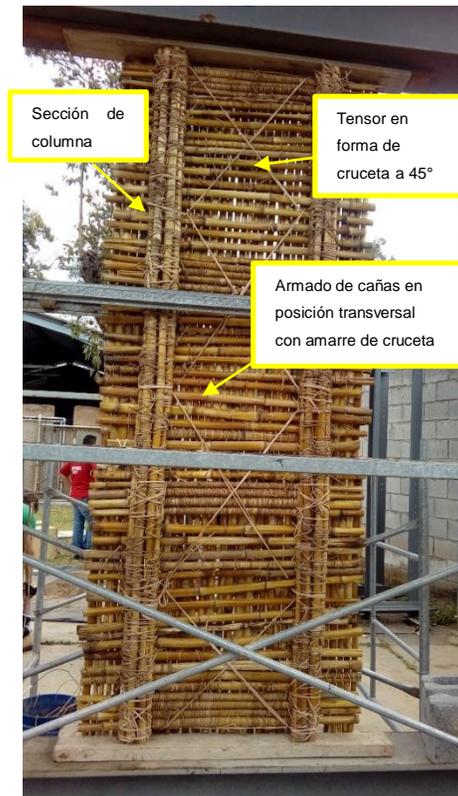
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Armado de muro propuesto lado uno**



Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Armado de muro propuesto lado dos**



Fuente: elaboración propia.

8.5.1.2. Preparación de mezcla y repello del muro

La proporción empleada para la elaboración del barro es la descrita en la sección 8.3.1: proporción de la mezcla, el procedimiento para la preparación de la mezcla y repello del muro se describe a continuación:

- El cálculo volumétrico de los materiales se elaboró en base a las medidas del muro, se consideró un incremento del 30 % de los materiales debido a los vacíos entre cañas.

- La arena y material suelo, fueron cernidos y posteriormente mezclados con la fibra de caña de forma manual a través del uso de palas sobre una superficie lisa y libre de otros materiales, como se observa en la figura 55.
- A la mezcla de materiales del paso anterior se le añadió agua hasta obtener una mezcla de consistencia pastosa, ver figura 57.
- El repello se colocó en tres capas hasta alcanzar el espesor propuesto de 1 cm.
- Después de colocado el repello se alisó la superficie, según se observa en la figura 61.
- El muro se dejó secando por un periodo de 28 días previo a la ejecución del ensayo.

Figura 56. **Cernido de arena para la elaboración de barro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Mezcla de arena y material suelo para elaboración de barro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **Humedecimiento de la mezcla para la elaboración de barro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Preparación de la mezcla de barro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Colocación de la primera capa de barro sobre el lado uno del muro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Colocación de la primera capa de barro sobre el lado dos del muro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Colocación de la tercera capa de barro sobre el lado uno del muro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Alisado de la superficie del muro**



Fuente: elaboración propia.

8.5.2. Descripción del ensayo

El ensayo de compresión fue elaborado sobre el muro con base en la norma ASTM E 72. El sistema empleado durante el ensayo se muestra en la figura 63; el procedimiento para la ejecución del mismo fue el siguiente:

- La transmisión de carga de compresión se efectuó a través de 2 gatos hidráulicos de 5 Ton y 0,99 pulg² de área colocados sobre cada columna.
- Se incrementó la carga a cada 100 psi, hasta llevar a la muestra a su falla. En este ensayo únicamente se efectuó un ciclo de carga y descarga.

- La lectura de deformaciones para cada incremento de carga, se efectuó sobre el eje horizontal en cada columna y al centro en ambos lados del muro.

Figura 64. **Gatos hidráulicos empleados para el desarrollo del ensayo de compresión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Sistema empleado para el ensayo del muro a compresión del muro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 66. **Desarrollo del ensayo a compresión del muro**



Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **Desarrollo del ensayo a compresión del muro**



Fuente: elaboración propia.

9. DATOS OBTENIDOS

En el siguiente capítulo se desarrolla un resumen de los datos obtenidos en cada uno de los ensayos efectuados.

9.1. Ensayo de fibra de tule a tensión

Las propuestas de amarre con fibra de tule planteadas en esta investigación fueron las siguientes:

- Única fibra seca
- Trenzada con 3 fibras en seco con recubrimiento de pegamento.
- Trenzada con 3 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento.
- Trenzada con 4 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento.
- Trenzada con 5 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento.
- Trenzada con 6 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento.
- Entorchado con 3 fibras en húmedo con recubrimiento de pegamento.
- Entorchado con 6 fibras en húmedo con recubrimiento de pegamento.

Para las propuestas anteriormente descritas se elaboraron 2 muestras, las cuales fueron ensayadas según el procedimiento detallado en la sección 8.1.2: descripción de ensayo, los datos obtenidos para cada ensayo fueron: Lectura de carga en libras, lectura de la deformación inmediata y a los 2 minutos de la muestra de ensayo en milímetros; medición de 3 diámetros a cada fibra, para efectos de cálculos se tomó el menor diámetro medido por considerarse el punto más débil de la fibra.

Tabla V. **Primera muestra única fibra seca**

Diámetro (mm)		3,75
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	2	100,00
1	3,8	101,00
+2 min	4	101,05
2	7,6	101,55
+2 min	8	102,01
3	11,4	102,15
+2 min	12	102,45
4	15,2	103,05
+2 min	16	103,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Segunda muestra única fibra seca**

Diámetro (mm)		5,4
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	4	100,00
1	7,6	100,00
+2 min	8	100,3
2	11,4	100,75
+2 min	12	100,75
3	15,2	101,1
+2 min	16	101,1
4	19	101,1
+2 min	20	101,8
5	22,8	102,0
6	24	102,3
7	28	103,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Primera muestra trenzada con 3 fibras en seco con recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		4,4
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	5	100,00
1	7,6	100,40
+2 min	8	100,40
2	11,4	100,75
+2 min	12	101,55
3	15,2	101,75
+2 min	16	102,15
4	19	103,3
+2 min	20	103,4
5	22,8	109,0
+2 min	24	109,45
6	26	109,6
7	29	115
8	28	116

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Segunda muestra trenzada con 3 fibras en seco con recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		7,24
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	4	100
1	7,6	100,35
+2 min	8	100,35
2	11,4	100,75
+2 min	12	101,5
3	15,2	102,05
+2 min	16	102,05
4	19	102,8
5	20	103,4

Continuación de la tabla VIII.

+2 min	22,8	103,4
6	24	104,75
+2 min	26,6	104,75
7	28	105
+2 min	30,4	105,35
8	32	106,3
+2 min	34,2	107,35
9	36	108
+2 min	36,5	109

Fuente: elaboración propia

Tabla IX. **Primera muestra trenzada con 3 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		3,6
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	4	100
1	7,6	101,95
+2 min	8	102,2
2	11,4	102,3
+2 min	12	102,6
3	15,2	102,9
+2 min	16	103,35
4	19	103,35
5	20	103,8
+2 min	22,8	103,8
6	24	104,35
+2 min	26,6	104,45
7	28	104,75
+2 min	30,4	104,8
8	32	105,1
+2 min	34,2	105,1
6	36	105,5

Continuación de la tabla IX.

7	40	106,5
8	40	106,75
9	40,3	106,85

Fuente: elaboración propia

Tabla X. **Segunda muestra trenzada con 3 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		5,6
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	6	100
1	7,6	100,8
+2 min	8	101,5
2	11,4	102,1
+2 min	12	102,4
3	15,2	103,6
+2 min	16	103,75
5	19	104,45
+2 min	20	104,95
6	22,8	105,4
+2 min	24	105,55
7	26,6	106,1
+2 min	28	106,55
8	30,4	107,35
+2 min	32	108
9	34,2	108,35
+2 min	36	109,1
10	38	109,5
11	40	109,85
12	43	110,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Primera muestra trenzada con 4 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		4.3
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	2,2	0
1	4,18	2,45
+2 min	4,4	2,45
2	8,36	4,3
+2 min	8,8	4,55
3	12,54	6,6
+2 min	13,2	6,6
4	16,72	7,45
+2 min	17,6	7,5
5	20,9	8
+2 min	22	9,8
6	23,54	10,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Segunda muestra trenzada con 4 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		7.68
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	2,2	100
1	4,18	101,75
+2 min	4,4	102,4
2	8,36	103,95
+2 min	8,8	104,2
3	12,54	106,25
+2 min	13,2	106,5
4	16,72	106,5
+2 min	17,6	107,75
5	20,9	108,7
+2 min	22	109,45

Continuación de la tabla XII.

6	25,08	109,65
+2 min	26,4	109,85
7	29,26	111,1
+2 min	30,8	111,7
8	33,44	111,7
+2 min	35,2	112,1
9	37,62	113,2
10	39,6	113,35
11	41,8	113,35
12	44	113,35
13	46,2	114

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Primera muestra trenzada con 5 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		5.7
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	6	100
1	8	101
+2 min	8	101,45
2	12	102,35
+2 min	12	103,45
3	16	103,6
+2 min	16	103,9
4	20	104,8
+2 min	20	104,95
5	24	105,15
+2 min	24	105,5
6	28	106,2
+2 min	28	106,75
7	32	106,8
+2 min	32	107,7
8	38	107,8
+2 min	38	108,8
9	40	108,85
+2 min	40	109,85
10	44	110,1
+2 min	44	110,45

Continuación de la tabla XIII.

11	48	110,9
+2 min	48	111,2
12	52	111,55
+2 min	52	111,65

Fuente: elaboración propia

Tabla XIV. **Segunda muestra trenzada con 5 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		3.3
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	6	100
1	8	103,35
+2 min	8	104,2
2	12	104,8
+2 min	12	105,2
3	16	106,4
+2 min	16	106,9
4	20	108,1
+2 min	20	108,7
5	24	109,35
+2 min	24	110,55
6	28	111,7
+2 min	28	111,9
7	32	112,75
+2 min	32	113,35
8	36	113,7
+2 min	36	114,2
9	42	114,9
+2 min	42	115,4
10	46	115,7

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Primera muestra trenzada con 6 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		9.95
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	4,4	100
1	8,36	101,95
+2 min	8,8	102,6
2	12,54	104,25
+2 min	13,2	104,8
3	16,72	105,6
+2 min	17,6	106,7
4	20,9	106,7
+2 min	22	106,75
5	25,08	107,4
+2 min	26,4	108
6	30,14	109
+2 min	30,8	109,65
7	33,44	110
+2 min	35,2	110,15
8	37,62	110,25
+2 min	39,6	110,3
9	41,8	110,4
+2 min	44	110,75
10	46,2	111
+2 min	48,4	111,5
11	50,6	111,8
+2 min	52,8	111,9
12	55	112,9

Fuente: elaboración propia

Tabla XVI. **Segunda muestra trenzada con 6 fibras en húmedo sin recubrimiento de pegamento**

Diametro (mm)		
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	2,2	100
1	6,38	101,75
+2 min	6,6	102,2
2	10,56	103
+2 min	11	103,65
3	14,74	104,15
+2 min	15,4	104,5
4	18,92	104,75
+2 min	19,8	105,05
5	23,1	105,6
+2 min	24,2	105,95
6	27,28	106,15
+2 min	28,6	106,6
7	31,46	106,9
+2 min	33	107,25
8	35,64	107,65
+2 min	37,4	107,65
9	39,82	108,3
+2 min	41,8	108,5
10	44	108,5
+2 min	46,2	108,85
11	48,4	109,5
+2 min	50,6	109,5
12	52,8	109,6
+2 min	55	109,7
13	59,4	109,95

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Entorchado con 3 fibras en húmedo con recubrimiento de pegamento**

Diámetro (mm)		5.52
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	2,31	100
1	6,49	102,35
+2 min	6,71	102,75
2	10,67	103,8
+2 min	11,11	104,25
3	14,85	104,4
+2 min	15,51	105,05
4	19,03	105,35
+2 min	19,91	106,75
5	23,21	106,8
+2 min	24,31	107,05
6	27,39	107,15
+2 min	28,71	107,9
7	31,57	107,95
+2 min	33,11	107,95
8	35,75	108
+2 min	37,51	108,15
9	39,93	108,45
10	41,91	108,5
11	44,11	108,55
12	46,31	108,6
13	47,3	109,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Primera muestra entorchado con 6 fibras en húmedo con recubrimiento de pegamento**

Diametro (mm)		5.52
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec 1 (mm)
0	2,2	0
1	4,18	0
+2 min	4,4	0,65
2	8,58	1,65
+2 min	8,8	1,65
3	12,54	2
+2 min	13,2	2,7
4	16,72	3,5
+2 min	17,6	3,5
5	20,9	3,5
+2 min	22	3,75
6	25,08	3,9
+2 min	26,4	4,35
7	29,26	4,4
+2 min	30,8	4,75
8	33,44	5,15
+2 min	35,2	5,8
9	37,62	5,8
+2 min	39,6	6
10	41,8	6,2
+2 min	44	
11	47,3	6,55
+2 min	48,4	6,55
12	51,7	6,7
+2 min	52,8	6,7
13	57,2	6,7
+2 min	60,5	6,7
14	61,6	6,7
+2 min	64,9	6,7
15	66	7,65
+2 min	70,4	7,65
16	71,5	7,85
+2 min	74,8	7,85

Continuación tabla XVIII.

17	75,9	8,1
+2 min	79,2	8,1
18	80,3	8,1
+2 min	83,6	8,35
19	84,7	8,35
+2 min	88	8,35
20	89,1	8,35
+2 min	90,2	9

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Segunda muestra entorchado con 6 fibras en húmedo con recubrimiento de pegamento**

Diametro (mm)		8.67
Ciclo de carga	Carga (lb)	Lec (mm)
0	2,2	0
1	4,18	0
+2 min	4,4	1,35
2	8,58	1,45
+2 min	8,8	2,25
3	12,54	2,25
+2 min	13,2	2,6
4	16,72	4,4
+2 min	17,6	4,4
5	20,9	4,4
+2 min	22	4,95
6	25,08	5,05
+2 min	26,4	5,75
7	29,26	5,75
+2 min	30,8	6,2
8	33,44	6,55
+2 min	35,2	6,65
9	37,62	6,65

Continuación de la tabla XIX.

+2 min	39,6	6,65
10	41,8	7,55
+2 min	44	7,55
11	46,2	8,2
+2 min	48,4	8,2
12	50,6	9

Fuente: elaboración propia.

9.2. Ensayo de granulometría de la fibra de caña

Se efectuó un ensayo de granulometría a la muestra obtenida mediante el método manual basado en la norma ASTM C125, los datos obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla XX. **Ensayo de granulometría de la fibra de caña**

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido por tamiz (g)
3/8	9,52	15,9
4	4,75	32,1
8	2,36	15,4
10	2	0,8
30	0,6	3
40	0,42	0,6
60	0,25	0,5
100	0,15	0,1
Total		68,4

Fuente: elaboración propia.

9.3. Ensayo de columna a compresión

El ensayo de columna a compresión se efectuó sobre 1 muestra de columna desarrollado según la sección 8.2: Ensayo de columna a compresión; para el presente ensayo se obtuvieron las lecturas de deformación de ambos lados de la sección transversal de la muestra en cm.

Tabla XXI. **Datos obtenidos del ensayo de columna a compresión**

Ciclo		Presión (psi)	Lectura eje Y (cm)	Lectura eje X (cm)
Primer ciclo	Carga	25	12	13,5
		50	12	13,5
		75	11,5	13,6
		100	11,1	13,7
		125	10,7	13,8
		150	6,7	13,9
		155	7,2	14
	Descarga	125	4,2	13,9
		100	4,8	13,8
		75	7,1	13,7
50		9,3	13,6	
25		0	0	
Segundo ciclo	Carga	50	10,4	16,2
		75	10,1	15,8
		100	9,4	14,4
		125	8,6	11,5
		150	6,7	6,6
	Descarga	125	6,9	6,6
		100	8,3	9,9
		75	9	12,5
50	9,8	14,2		

Fuente: elaboración propia.

9.4. Ensayo de compresión de mortero usando especímenes cúbicos

A partir del desarrollo de los ensayos a compresión de mortero usando especímenes cúbicos, se obtuvo la masa, la medida de los lados de la sección donde se aplicó la carga y el valor de la carga máxima a compresión para cada cubo. Estos datos se resumen en los datos obtenidos.

Tabla XXII. **Peso de los cubos de mortero de barro**

No. de muestra	Peso (g)
1	134
2	133
3	137
4	134
5	138
6	132
Promedio	134,67

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Medidas y promedio de cada lado de los cubos de mortero de barro**

No. de muestra	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Promedio lado A (mm)	Promedio lado B (mm)
1	46,9	45,6	45,7	46,3
	44,5	47		
2	45,1	47,6	44,7	47,625
	44,3	47,65		
3	47,3	47,65	47,55	47,875
	47,8	48,1		
4	48,1	45,4	48,125	46,5
	48,15	47,6		

Continuación de la tabla XXIII.

5	48	46,4	47,6	45
	47,2	43,6		
6	48,15	45,7	48,1	45,575
	48,05	45,45		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Presión y carga máxima a compresión de los cubos de barro**

No. de muestra	Presión máx. (psi)	Carga máx. (lb)	Carga máx. (kg)
1	650	643,5	292,5
2	700	693	315
3	750	742,5	337,5
4	500	495	225
5	500	495	225
6	575	569,25	258,75

Fuente: elaboración propia.

9.5. Ensayo de corte de prisma de mampostería

Del ensayo de prismas mampostería efectuados sobre los paneles de muestra, se obtuvo la carga de falla de cada muestra, según se observa en las siguientes tablas:

Tabla XXV. **Ensayo de corte de prisma de mampostería sobre el panel 1**

Carga (kg)	Observaciones
45	Carga Inicial
90	El panel está completo
225	Tope y panel fallado

Continuación de la tabla XXV.

270	Carga a la que llegó
-----	----------------------

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Ensayo de corte de prisma de mampostería sobre el panel 2**

Carga (kg)	Observaciones
45	Carga Inicial
202,50	Carga a la que llegó

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Ensayo de corte de prisma de mampostería sobre el panel 3**

Carga (kg)	Observaciones
45	Carga Inicial
112,50	Carga a la que llegó

Fuente: elaboración propia.

9.6. Ensayo de muro a compresión

A continuación, se presentan los datos obtenidos del ensayo de muro a compresión, estos corresponden a las lecturas de deformación sobre el eje horizontal en ambos lados del muro.

Tabla XXVIII. **Datos obtenidos del ensayo de muro a compresión**

Presión (psi)	Carga (lbs)	Carga (kg)	Lectura eje horizontal- lado 1 (cm)			Lectura eje horizontal- lado 2 (cm)		
			Columna 1	Centro	Columna 2	Columna 1	Centro	Columna 2
225	445,5	202,5	8,6	15,5	9,5	11,9	14,7	10,1
300	594	270	8,54	15,2	9,47	11,97	14,8	10,13

Continuación de la tabla XXVIII.

400	792	360	8,52	15	9,45	11,99	14,95	10,16
500	990	450	8,51	14,8	9,42	12	14,9	10,18
600	1188	540	8,45	14,7	9,4	12,02	14,92	10,2
700	1386	630	8,42	14,6	9,35	12,05	15,05	10,22
800	1584	720	8,4	14,55	9,3	12,08	15,21	10,24
900	1782	810	8,38	14,54	9,27	12,1	15,18	10,26
1000	1980	900	8,34	14,53	9,23	12,15	15,22	10,3
1100	2178	990	8,3	14,52	9,21	12,24	15,4	10,35
1200	2376	1080	8,25	14,5	9,17	12,3	15,61	10,4
1300	2574	1170	8,2	14,4	9,1	12,4	15,7	10,47
1400	2772	1260	8,1	14,3	9	12,4	15,87	10,52
1500	2970	1350	8	14,2	8,9	12,5	16,2	10,65
1600	3168	1440	7,9	14,1	8,75	12,8	15,7	10,8
1700	3366	1530	7,75	13,9	8,5	13	15,8	11
1800	3564	1620	7,75	13,7	8,2	13,2	16	11,2
1900	3762	1710	7,4	13,5	8	13,5	16,4	11,5
2000	3960	1800	7,1	12,9	7,5	14,1	17	12,1
1750	3465	1575	6,5	12,6	7,3	14,2	17	12,2
2000	3960	1800	5,7	12,4	6,9	14,7	17,4	12,6
1500	2970	1350	4,1	10,6	5,5	16,1	19,2	14,2
1000	1980	900	4,3	10,7	5,5	16,4	19	14
500	990	450	4,8	11,4	6	15,7	18,4	13,5
300	594	270	5	11,6	6,4	15,4	18	13,1
350	693	315	5,1	11,8	6,4	15,3	18,1	13,2

Fuente: elaboración propia

10. CÁLCULOS EFECTUADOS

En el presente capítulo se resumen las ecuaciones utilizadas para determinar las propiedades mecánicas del muro propuesto y sus componentes, según los ensayos efectuados.

10.1. Resistencia de la fibra de tule a tensión

- Deformación unitaria

$$\varepsilon = \varepsilon_f / \varepsilon_o$$

Donde:

- ε = deformación unitaria en mm/mm.
 - ε_f = deformación medida, corresponde a la resta de la longitud medida al final de la aplicación de cada carga y la longitud inicial.
 - ε_o = longitud inicial, en todos los ensayos se midió una longitud inicial de 100 mm.
- Esfuerzo

$$\sigma = P / A$$

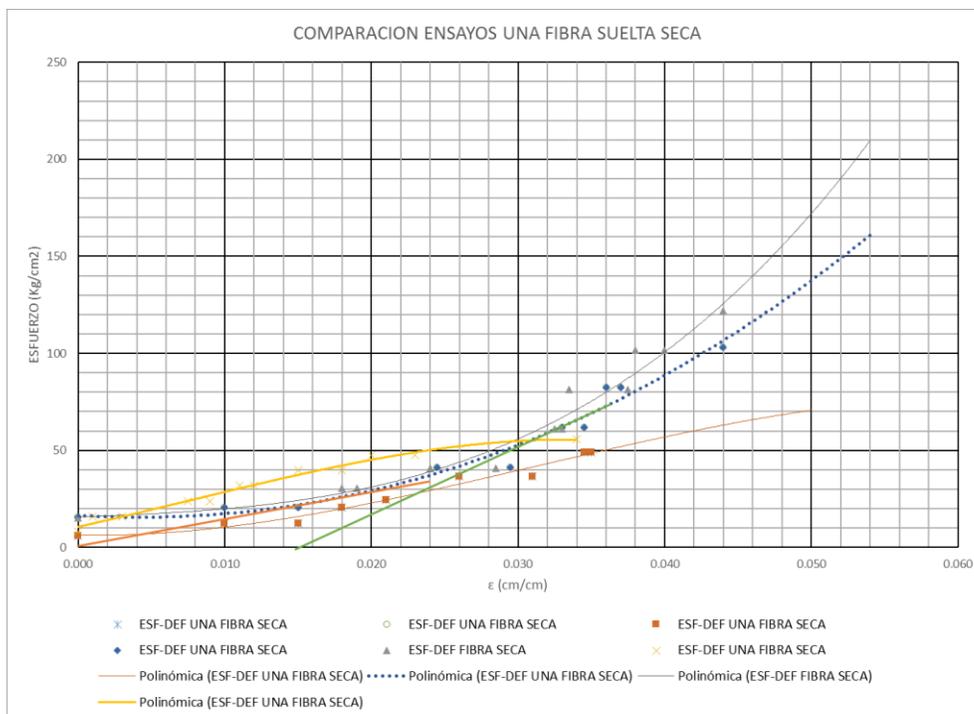
Donde:

- σ = esfuerzo en kg por cm^2 .
- P = carga en kg.
- A = área de la muestra, para efectos de cálculo se asumieron áreas circulares.

10.1.1. Ensayos de resistencia de una fibra suelta

En esta sección se presentan los datos obtenidos en los ensayos a tensión sobre para las muestras consistentes en una única fibra suelta por medio de un gráfico esfuerzo deformación.

Figura 68. **Gráfico esfuerzo deformación de los ensayos de una fibra suelta**



Fuente: elaboración propia.

A través de la observación directa de la gráfica anterior, se define el comportamiento de una sola fibra de tule la cual se empleará para establecer sus características principales como elemento de amarre.

- El esfuerzo de trabajo es de 20 kg/cm² y una deformación unitaria de 0,014 mm/mm.
- El esfuerzo último es de 50 kg/cm² con una deformación unitaria de 0,030 mm/mm.
- Factor de seguridad con respecto a esfuerzos de 0,5.
- El esfuerzo de resiliencia de 14 kg/cm² y deformación unitaria máxima de resiliencia de 0,007 mm/mm.

Se consideró como criterio de para la determinación de esfuerzo de diseño del sistema de amarre con fibra de tule, al esfuerzo correspondiente a la deformación última de la fibra.

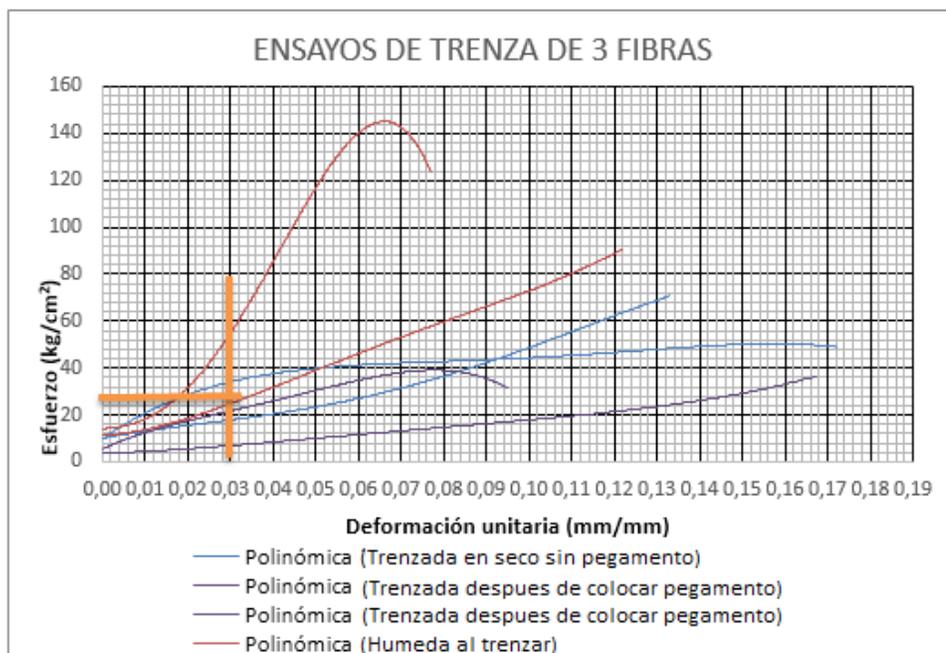
10.1.1.1. Ensayos de tres fibras trenzadas

Los resultados de los ensayos de las muestras conformadas por tres fibras, se grafican en la figura 69, cuya interpretación se muestra en los siguientes párrafos.

En el sistema de trenzado con tres fibras se propusieron diversas técnicas para mejorar la resistencia del sistema, las que se describen a continuación:

- Trenzada en seco sin recubrimiento de pegamento (líneas de tendencia azules).
- Trenzada en seco con recubrimiento de pegamento (líneas de tendencia amarillas)
- Trenzada en húmedo sin recubrimiento de pegamento (líneas de tendencia rojas)

Figura 69. **Gráfico esfuerzo deformación trenzado con tres fibras**



Fuente: elaboración propia.

Dado que las trenzas húmedas mostraron mejores resultados que las demás formulaciones planteadas se establecieron que este procedimiento es el

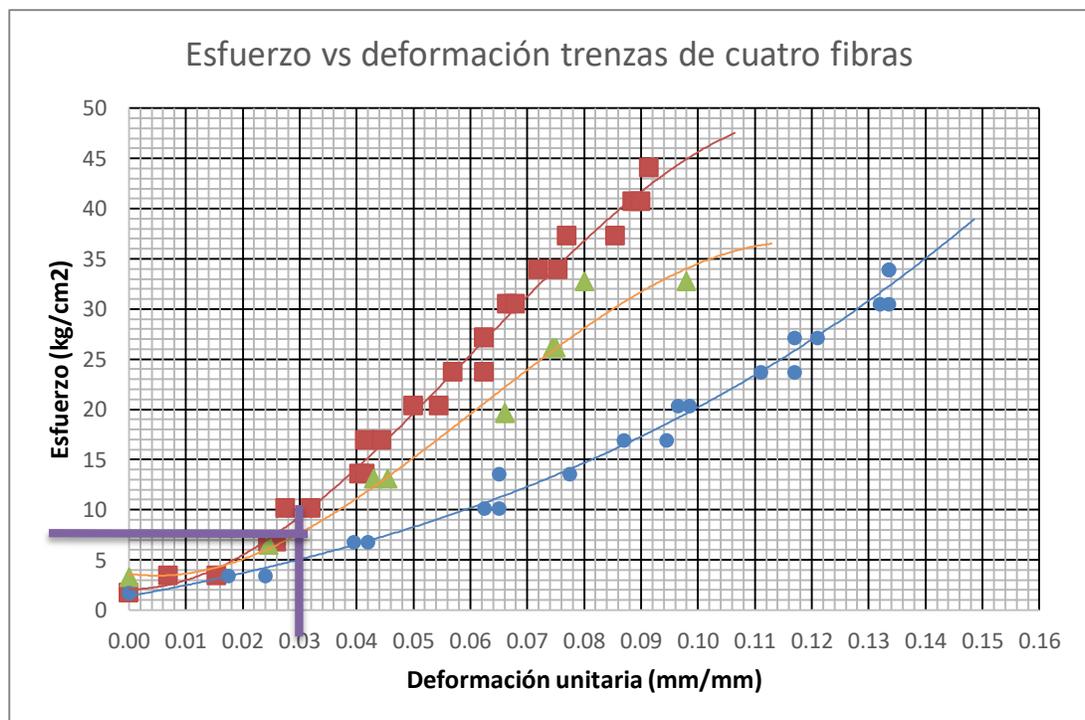
más adecuado para evitar microfallas y estricciones en las fibras previas al ensayo de tracción.

Como se observa en la gráfica, para la trenza de tres fibras, a una deformación unitaria de 0,03 mm/mm se obtiene un esfuerzo de 24 kg/cm².

10.1.2. Ensayo de trenzado con cuatro fibras

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos a tensión sobre muestras trenzadas con cuatro fibras se muestran en la figura 70, se observa que para una deformación unitaria de 0,03 mm/mm se tendrá un esfuerzo de 8 kg/cm².

Figura 70. **Gráfico esfuerzo deformación trenzado de cuatro fibras**

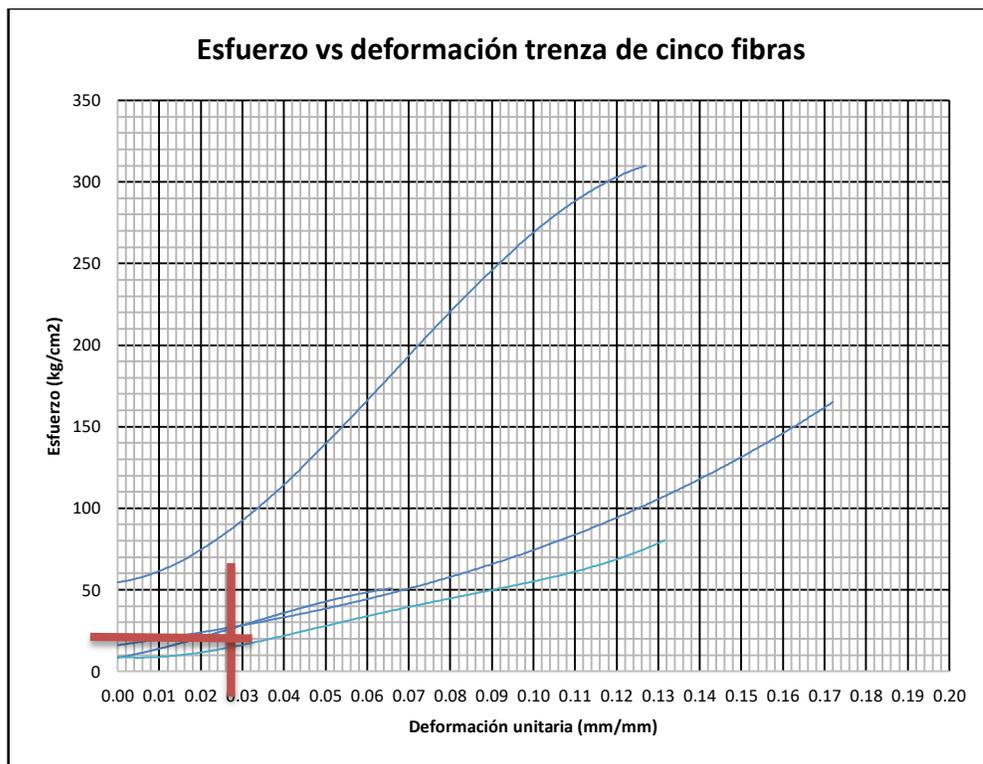


Fuente: elaboración propia.

10.1.3. Ensayo de cinco fibras trenzadas

El resultado obtenido a partir de los ensayos a tensión elaborados sobre muestras de trenzas conformadas por cinco fibras, se muestra en la figura 71. Se puede observar que para una deformación unitaria de 0,03 mm/mm, el sistema de fibras estará bajo un esfuerzo de 20 kg/cm².

Figura 71. Gráfico esfuerzo deformación trenzado con cinco fibras

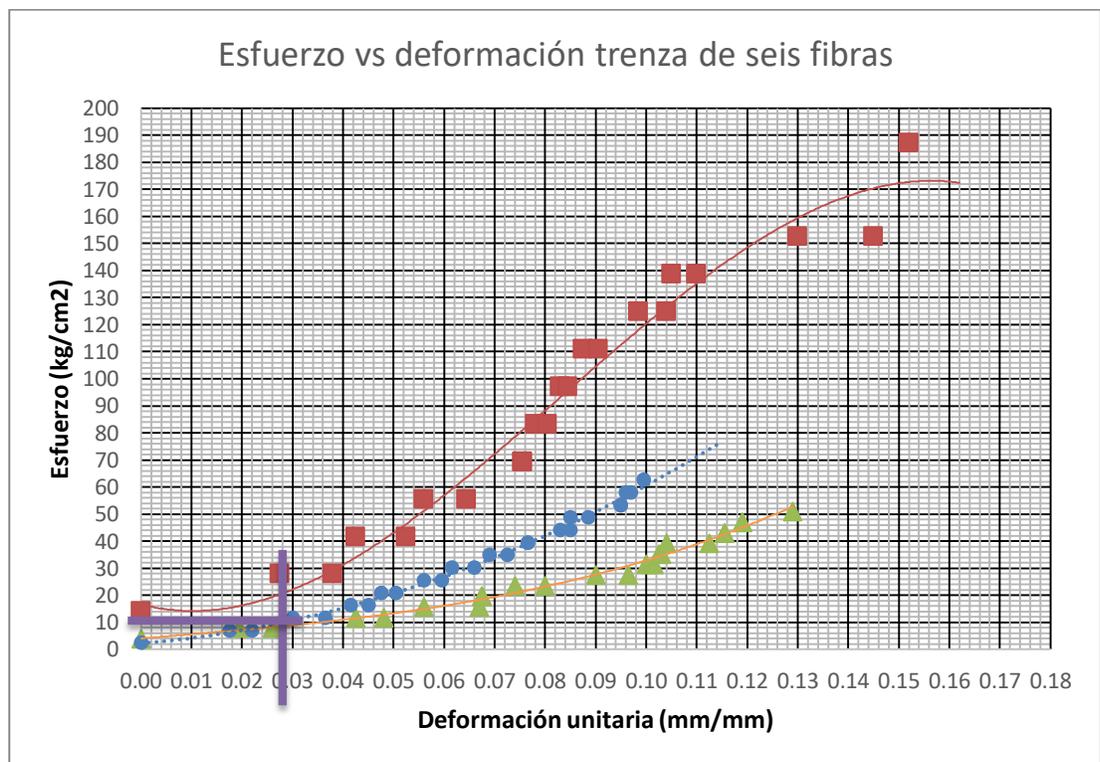


Fuente: elaboración propia.

10.1.4. Ensayo de trenzado con seis fibras

En la figura 72 se muestra el gráfico esfuerzo deformación para las muestras trenzadas con seis fibras ensayadas a tensión.

Figura 72. Gráfico esfuerzo deformación trenzado con seis fibras



Fuente: elaboración propia.

En el caso del trenzado de seis fibras, para una deformación unitaria de 0,03 mm/mm el esfuerzo de las fibras que conforman el sistema será de 12 kg/cm².

10.2. Granulometría de la fibra de caña

$$\% \text{ que pasa} = \frac{\text{peso material más fino} + \text{peso material acumulado}}{\text{peso total}} * 100$$

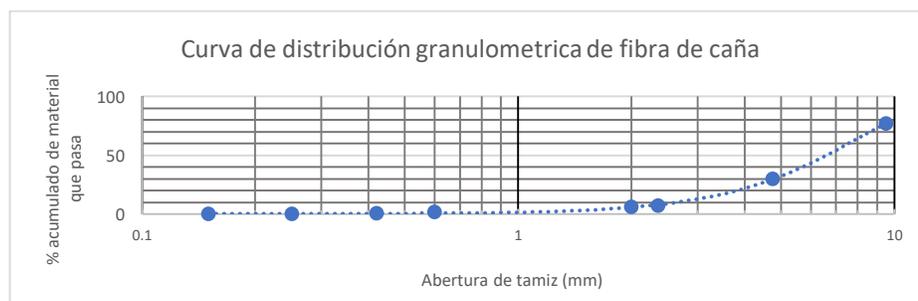
Donde, el peso del material acumulado se determinó como la diferencia el peso total y el peso retenido por el tamiz.

Tabla XXIX. **Granulometría de la fibra de caña**

Tamiz	Peso material acumulado (g)	% que pasa
3/8	68,3	100,00
4	52,4	76,75
8	20,3	29,82
10	4,9	7,31
30	4,1	6,14
40	1,1	1,75
60	0,5	0,88
100	0,1	0,29

Fuente: elaboración propia.

Figura 73. **Curva de distribución granulométrica de fibra de caña**



Fuente: elaboración propia

En la gráfica anterior, se muestra la distribución granulométrica de la fibra elaborada a través del método manual en un rango 10 a 0,1 mm de abertura de tamiz.

10.3. Resistencia de la columna propuesta a compresión

- Cálculo de la carga crítica de Euler para el armado de cañas de maíz:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Donde:

- E = módulo de elasticidad de la caña de maíz, con un valor correspondiente a 748,5 kg/cm².
- L = Altura de la columna, equivalente a 250 cm.
- I = Inercia del elemento.

Las consideraciones supuestas para determinar la inercia de la columna, se describen a continuación:

- La relación de vacíos calculada es 0,02, por lo que se empleará un factor de modificación de área de 0,98 para determinar el radio equivalente. El área equivalente se calculará como una sección circular equivalente a partir de una sección cuadrada con lado promedio de 9,26 cm.
- Masa media de una caña de 50 cm: 26,24 gr.

- La columna se armó con 4 paquetes de 3 cañas.

$$\text{Area equivalente} = \frac{\pi}{4} * 9,264^2 = 67,40 \text{ cm}^2$$

$$\text{Radio}_{Eq} = 9,17 \text{ cm}$$

$$\text{Masa total de la columna} = 1574,4 \text{ g}$$

$$I = MR^2 = 1574,4 \text{ gr} * (9,17 \text{ cm})^2 = 132,41 \text{ kg} - \text{cm}^2$$

$$P_{CR} = \frac{\pi^2 * 748,5 \text{ kg/cm}^2 * 132,41 \text{ kg} - \text{cm}^2}{(250 \text{ cm})^2} = 15,65 \text{ kg}$$

- Resistencia a la compresión del barro en la columna:

$$12,35 \text{ kg/cm}^2 * 67,40 \text{ cm}^2 = 833 \text{ Kg}$$

- Resistencia a la compresión total de la columna propuesta:

$$15,65 \text{ kg} + 833 \text{ kg} = 849 \text{ kg}$$

10.4. Resistencia del mortero a compresión

$$f'm = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A}$$

Donde:

- $f'm$ = esfuerzo último del mortero a compresión
- $P_{m\acute{a}x}$ = carga máxima a compresión
- A = área de la muestra

10.5. Resistencia a corte de prisma de mampostería

$$S_s = P/A$$

Donde:

- S_s = Esfuerzo de corte en kg/cm².
- P = Carga en kg.
- A = Área de la muestra, correspondiente al ancho por espesor de la muestra.

10.6. Resistencia del muro a compresión

En las siguientes secciones se desarrolla el análisis del muro propuesto a compresión, realizado a través de un modelo teórico por solicitación de cargas gravitacionales y uno gráfico elaborado a partir de los datos obtenidos del ensayo de muro a compresión.

10.6.1. Análisis teórico de la resistencia del muro a compresión

El análisis de la resistencia del muro propuesto a compresión, involucra la comparación de las cargas que soportará un muro durante su uso y la carga a compresión resistida en el ensayo de laboratorio.

Para el cálculo de la primera, se integraron las cargas muertas generadas por dos tipos de techos, usualmente empleados en los techos del área rural los cuales consisten en un techo de lámina y techo de teja.

Las dimensiones de vivienda a emplear en el análisis del muro a compresión fueron extraídas del trabajo de investigación *Modelo de vivienda sostenible para el área rural del cerro Alux, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala*, las cuales son de 3,00 m por 13,50 m con un área de vivienda de 40,5 m².

- Carga con techo de lámina

Peso de techo de lámina: 37,5 kg/m

Carga de viento: 75 kg/m²

Carga total= 37,5 +75 =112,5 kg/m²

Carga por metro lineal= 138,07 kg/m

- Carga con techo de teja

Peso de techo de teja: 41,81 kg/m² (DURATEJA INMANCO)

Carga de viento: 75 kg/m²

Carga total= (41,81*1,10) +75 + 45 =120,99 kg/m²

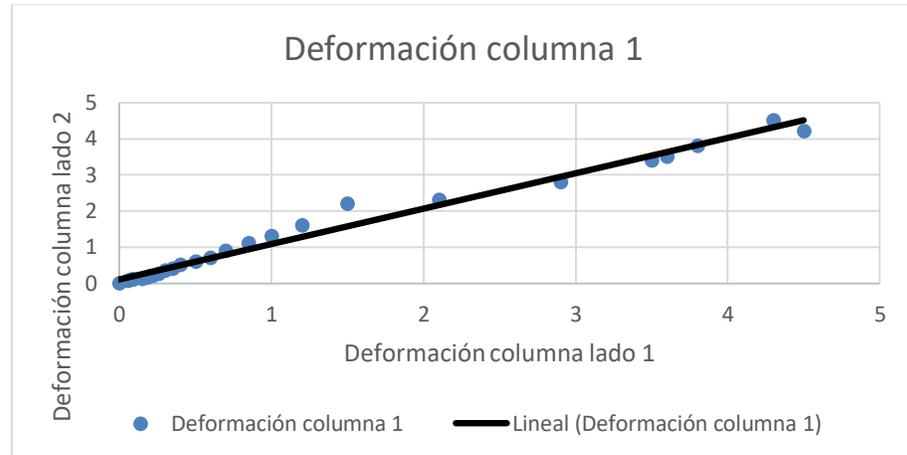
Carga por metro lineal= 165,99 kg/m

10.6.2. Análisis de la resistencia del muro a compresión según el ensayo

Para efectuar este análisis se graficaron las lecturas de deformación obtenidas en cada lado del muro para cada columna, las cuales permitieron visualizar el comportamiento de las deformaciones.

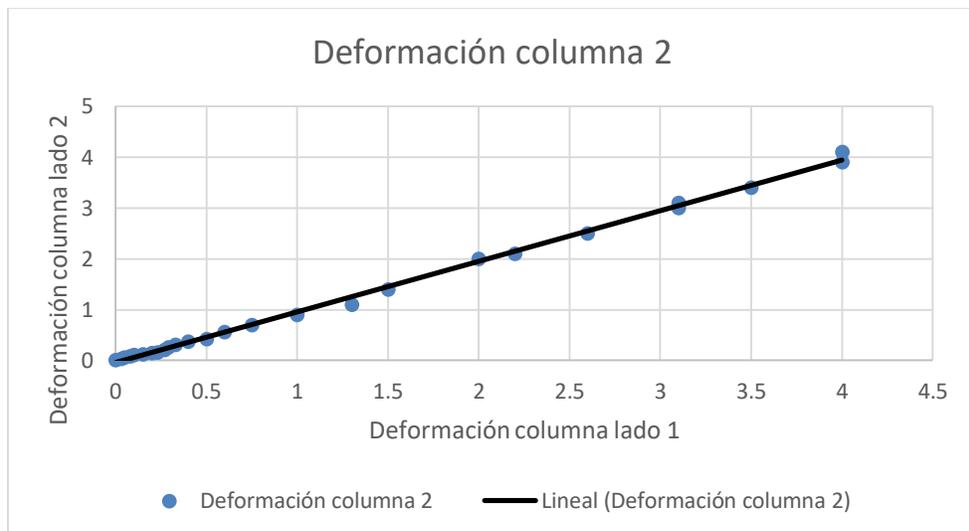
En la figura 74 y 75 se observa un comportamiento homogéneo de la deformación del muro ensayado, hasta una deformación de 1 cm.

Figura 74. **Gráfico de deformación, columna 1, ensayo de muro a compresión**



Fuente: elaboración propia.

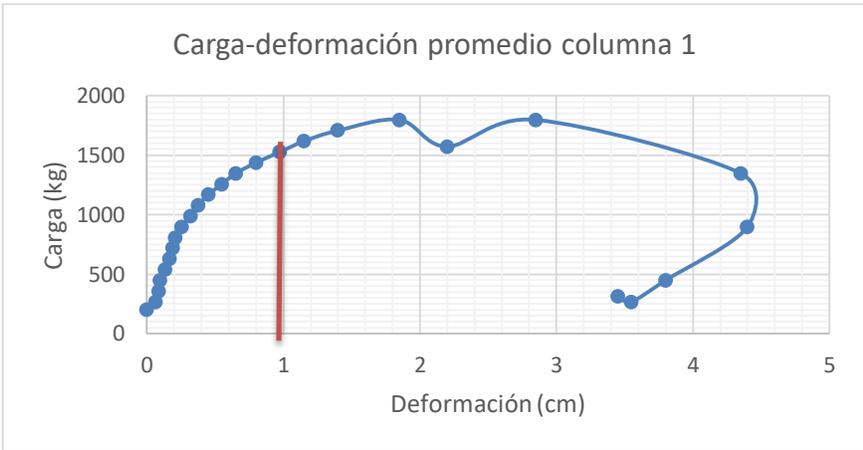
Figura 75. **Gráfico de deformación, columna 2, ensayo de muro a compresión**



Fuente: elaboración propia.

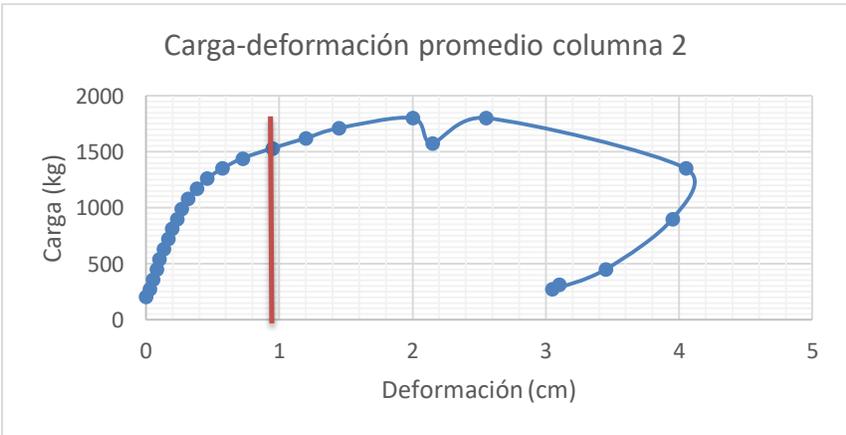
Las gráficas carga-deformación del muro ensayado a compresión muestran una carga de 1 555 kg a una deformación de 1 cm, con lo cual se obtiene un factor de seguridad de carga a compresión máxima de 0,9.

Figura 76. **Gráfico esfuerzo deformación promedio columna 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 77. **Gráfico esfuerzo deformación promedio columna 2**



Fuente: elaboración propia.

11. RESULTADOS

11.1. Resistencia de la fibra de tule a tensión

Para determinar el amarre óptimo se compararon los esfuerzos de diseño de todos los sistemas de amarre propuestos, determinándose a su vez el esfuerzo por fibra tomando la suposición que todas las fibras empleadas en un sistema de amarre fallaron al mismo tiempo.

Tabla XXX. **Resistencia de la fibra de tule a tensión según amarre propuesto**

Sistema de amarre de tule	Esfuerzo de diseño (Kg/cm ²)	Esfuerzo por fibra (Kg/cm ²)
Una fibra suelto	50	50
Tres fibras trenzadas	24	8
Cinco fibras trenzadas en húmedo sin recubrimiento de pegamento	20	4
Entorchado de 3 fibras con recubrimiento de pegamento	18	6
Trenzado con 6 fibras sin recubrimiento de pegamento	12	4
Entorchado con 6 fibras con recubrimiento de pegamento	10	1.67
Trenzado con 4 fibras sin recubrimiento de pegamento	8	2

Fuente: elaboración propia.

11.2. Resistencia de la columna propuesta a compresión

Los resultados obtenidos a partir del análisis de la columna a compresión, se resumen en la Tabla XXXI.

Tabla XXXI. Resistencia de la columna a compresión

Resistencia	Carga (kg)
Carga teórica	849
Carga de cada columna según el ensayo a compresión del muro	900

Fuente: elaboración propia.

11.3. Resistencia del mortero a compresión

La normativa COGUANOR NTG 41003 h4 establece que el resultado de la prueba consiste en el cálculo de resistencia promedio de todos los cubos ensayados.

Tabla XXXII. Resistencia del mortero a compresión

No. de muestra	f'm (kg/cm ²)
1	13,82
2	14,80
3	14,83
4	10,05
5	10,50
6	11,80
Promedio	12,63

Fuente: elaboración propia.

11.4. Resistencia a corte de prisma de mampostería

Los resultados de las muestras sometidas a ensayo de corte se resumen en la siguiente tabla.

Tabla XXXIII. Resistencia a corte de cada panel

No. de panel	Resistencia a corte (kg/cm ²)
1	0,30
2	0,20
3	0,26
Promedio	0,25

Fuente: elaboración propia.

11.5. Resistencia del muro a compresión

Los resultados de los análisis del muro a compresión, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla XXXIV. Resistencia del muro a compresión

Resistencia a compresión	Carga por metro lineal (kg/m)
Peso de techo de lámina (teórico)	138,07
Peso de techo de teja (teórico)	165,99
Carga máxima a compresión del muro propuesto, según el ensayo	1 555,00

Fuente: elaboración propia.

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- A través de la comparación de los esfuerzos por fibra obtenidos de los ensayos a tensión de la fibra de tule, se determinó que la forma de amarre óptimo es empleando una única fibra. Cuyo esfuerzo último es de 50 kg/cm² y deformación unitaria es de 0,030 mm/mm.
- La manejabilidad de la fibra de tule mejora al humedecerla; sin embargo, se recomienda humedecerla por un periodo corto antes de su uso, para evitar la pudrición de la fibra.
- Durante la elaboración de los distintos amarres se observó que las fibras se debilitaron debido a la generación de microfisuras en las fibras lo que ocasionó su debilitamiento previo al ensayo.
- Se determinó que la carga a compresión máxima de la columna propuesta es de 849 kg, mientras la máxima carga obtenida a través del ensayo a compresión fue de 900 kg, sin llegar al colapso del elemento.
- El espesor de 1 cm utilizado para el repello final, fue elegido debido a que mayores espesores generan debilitamiento en la estructura de cañas debido al peso del repello.
- La resistencia del barro a compresión promedio fue de 12,63 kg/cm², se observó la presencia de falla tipo reloj de arena.

- Durante la elaboración de la fibra de caña, se observó una mayor homogeneidad del material empleando el procedimiento manual; sin embargo, el método con molino provee mayor facilidad para su fabricación.
- Después del periodo de secado del muro, se observó un menor agrietamiento en el barro, debido a que la fibra de caña proveyó mayor adherencia a la mezcla.
- La resistencia promedio de los paneles ensayados a corte es de 0,25 kg/cm².
- La carga máxima permisible a compresión del muro propuesto de 1 555 kg/m, mientras que las cargas de sollicitación por el viento y techo de teja son de 165,99 kg/m.

CONCLUSIONES

1. Se evaluó el uso de la fibra de tule como sustituto del alambre de amarre, a través de la prueba de tensión a distintos tipos de amarre de la fibra; el tipo de amarre más óptimo es el de una única fibra.
2. La resistencia a la compresión según la DIN 18954 se encuentra en un rango de 3 a 5 kg/cm², la resistencia a la mezcla de barro promedio elaborada fue de 12,63 kg/cm². Por lo que la mezcla de barro elaborada en el presente estudio supera el rango establecido por dicha norma.
3. La resistencia a corte promedio de los paneles ensayados fue de 0,25 kg/cm²; queda por debajo de la resistencia a corte teórico del barro de 0,30 kg/cm².
4. A través del análisis de muro a escala natural a compresión, se estableció que la carga máxima de 1555 kg con una deformación de 1 cm, supera a la carga originada por un techo de teja de 165,99 kg/m, razón por la cual el muro propuesto es una alternativa viable para la construcción de vivienda en el área rural del país.

RECOMENDACIONES

La recomendación general es que se continúen realizando trabajos de graduación como investigación en la temática que se enumera a continuación:

1. Realizar diversos armados de caña de maíz para diseñar un muro a escala natural en el que se evalúe su resistencia por medio de ensayos a corte y compresión.
2. Desarrollar un recubrimiento natural para evitar la degradación del barro por factores ambientales y biológicos.
3. Desarrollar investigaciones para determinar la resistencia a compresión del barro con distintas proporciones volumétricas; así mismo, comparar la variabilidad en la resistencia utilizando fibras elaboradas manualmente y con molino.
4. Realizar muros a escala natural utilizando diversos tipos de caña cosechados a nivel nacional, para determinar su resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO FIGUEROA, Marvin Grover. *Bloques de tierra compactada estabilizados con aglomerante natural CP*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 242 p.
2. AREVALO GARCÍA, Juan Francisco. *Modelo de vivienda sostenible para el área rural del cerro Alux, San Pedro Sacatepéquez, Guatemala*. Trabajo de graduación de Arquitectura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2013. 97 p.
3. CHIC CAMEY, Werner Josué. *Diseño, construcción y evaluación de un elemento constructivo para vivienda utilizando cañas de maíz*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 210 p.
4. *Fibras y otros productos vegetales. Actas del primer congreso internacional de folklorología en Panamá*. Congreso internacional de folklorología en Panamá. Provincia de los Santos: Instituto Nacional de Cultura. Dirección Nacional de Patrimonio Histórico, 1973. [en línea]. <<http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/folklorologia3.pdf>> [Consulta: 20 de enero de 2018].
5. FUENTES LÓPEZ, Mario Roberto. *El cultivo del maíz en Guatemala, una guía para su manejo agronómico*. Guatemala, Instituto de Ciencia y Tecnologías Agrícolas, 2002. [en línea].

<<http://www.funsepa.net/guatemala/docs/cultivoMaizManejoAgronomico.pdf>> [Consulta: 15 de enero de 2018].

6. GALEANO, Gloria; GARCÍA, Nestor; FIGUEROA, Yisela; LINARES, Edgar. *Fibras vegetales utilizadas en artesanías en Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Ciencias Naturales-Universidad Nacional de Colombia, 2008. 328 p.
7. GIRÓN, Jorge; LEMUS, Ligia; MARTINEZ, Jessica. *Caracterización organizativa, producción y comercialización de artesanías de tule (Cyperus canus) que realiza el Grupo de Mujeres Artesanas del municipio de San Juan Tecuaco, departamento de Santa Rosa, Guatemala 2009*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2009. 69 p.
8. GODOY SOLORZANO, Carlos Alejandro. *Evaluación experimental de paneles de caña de maíz en un sistema de cielo falso para confort térmico*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 210 p.
9. HENNEBERG DE LEÓN, Andrea Mara. *La técnica constructiva del Bahareque en el estado Zulia. Estudio comparativo*. Trabajo de graduación de Especialista en Construcción de Obras Civiles, Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, 2005. 108 p.
10. HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, Marlon Leonel. *Caracterización del sistema de cultivo del Cibaque (Cyperuscanus J.S), Diagnóstico y servicios desarrollados en la aldea Agua Hedionda, municipio de San Andrés Sajcabajá. Departamento de Quiché, Guatemala, C.A.* Trabajo de

graduación de Ing. Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 2014. 97 p.

11. JUAREZ, Rogelio. *Situación actual del maguey (Agave sp.) y alternativas para su modernización, en el municipio de Comapa, departamento de Jutiapa*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 1980. 44 p.
12. Agricultura.biz. *Maíz*. México: Agricultura.biz. [En línea]. <<https://agricultura.biz/cultivos/maiz/>>. [Consulta: 14 de enero de 2018].
13. MINKE, Gernot. *Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*. Uruguay: Nordan-Comunidad, 1994. 222 p.
14. Pasturas de américa. *Residuos del cultivo de maíz*. [en línea]. <<http://www.pasturasdeamerica.com/utilizacion-forrajes/residuos-agricolas/maiz>> [Consulta: 20 de enero de 2018].
15. PIEDECAUSA GARCÍA, Beatriz. *La vivienda excavada: evaluación tipológica, condiciones ambientales y adaptación geográfica. El caso de Crevillente (Alicante)*. Construcción con tierra. Tecnología y Arquitectura. Congresos de arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2010/2011. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid, 2011. P. 397-414. [en línea]. <<http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/201>

1_9788469481073_p397-414_piedecausa.pdf> [Consulta: 18 octubre de 2018].

16. Planeamiento MAGA. *Informe de situación de maíz blanco, agosto 2018*. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. [en línea].
<https://www.maga.gob.gt/sitios/diplan/download/informacion_del_sector/informes_de_situacion_de_maiz_y_frijol/2018/08%20Informe%20Situaci%C3%B3n%20Del%20Ma%C3%ADz%20Blanco%20Agosto%202018.pdf> [Consulta: 18 octubre de 2018].

APÉNDICE

Posterior al desarrollo experimental de la presente investigación se expuso el muro propuesto a la intemperie; en las siguientes fotografías se muestra su estado actual. Como se observa en las fotografías adjuntas, el muro conserva su integridad estructural; perdió únicamente parte del recubrimiento de barro.

Apéndice 1. Estado actual del muro de bajareque propuesto



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Estado actual del armado y uniones de tule del muro**



Fuente: elaboración propia.