



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“EFECTO EN LA COMPRESIÓN AXIAL DE  
ADOBES CON ADICIÓN DE FIBRAS DE PAJA  
TOQUILLA Y PAJA ICHU”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Julio Gean Pierre Marín Alfaro

Asesor:

Ing. Gabriel Cachi Cerna

Cajamarca - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

Primero, a Dios, por permitirme llegar hasta donde estoy y continuar teniendo éxito en la vida, porque me da la fortaleza y sabiduría para cumplir mis metas trazadas.

También a mi familia, que me guían con sabios consejos para el crecimiento de mi vida profesional, por apoyarme para alcanzar este logro.

A mis compañeros, por apoyarme cuando lo necesitaba y por todas las experiencias positivas y agradables que pasamos juntos.

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme dar un paso importante en mi vida profesional.

A mi familia por apoyarme en mi carrera universitaria.

Al ing. Gabriel Cachi Cerna quien me apoyo con sus conocimientos para la elaboración de  
este trabajo.

A nuestros Docentes de la Sección de Posgrado, quienes en todo momento motivaron y  
propiciaron la búsqueda de nuevos conocimientos y experiencias en el campo de la ciencia  
y tecnología como complemento a nuestra formación profesional.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>15</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>17</b>
1.1. Realidad problemática .....	17
1.2. Formulación del problema.....	52
1.3. Objetivos .....	52
1.4. Hipótesis .....	52
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>53</b>
2.1. Tipo de investigación .....	53
2.2. Población y muestra.....	54
2.3. Materiales, instrumentos y métodos .....	55
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	56
2.5. Procedimiento .....	58
2.6. Aspectos éticos .....	61
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
3.1. Clasificación del suelo.....	62
3.2. Ensayo Proctor modificado (Método A). .....	65
3.3. Ensayo de resistencia a compresión axial.....	67
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>

4.1.	Limitaciones e implicancias .....	73
4.2.	Discusión.....	73
4.3.	Conclusiones.....	74
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>77</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>81</b>
<b>ANEXO N°1: Panel Fotográfico.....</b>		<b>81</b>
<b>ANEXO N°2: Procesamiento de datos.....</b>		<b>90</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores típicos de diámetro y longitud de la fibra. ....	22
Tabla 2: Porcentaje de absorción de agua en las fibras. ....	23
Tabla 3: Nombres de la Planta Toquilla en otros países. ....	41
Tabla 4: Sistema de clasificación AASHTO. ....	47
Tabla 5: Cantidad de adobes para el ensayo. ....	54
Tabla 6: Recolección de datos. ....	56
Tabla 7: Juego de tamices. ....	59
Tabla 8: Contenido de humedad. ....	62
Tabla 9: Límite Líquido. ....	62
Tabla 10: Límite Plástico. ....	63
Tabla 11: Índice de plasticidad. ....	63
Tabla 12: Granulometría por lavado. ....	64
Tabla 13: Proctor modificado de la muestra patrón. ....	65
Tabla 14: Proctor modificado de la muestra con 2% de Paja Toquilla. ....	66
Tabla 15: Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Toquilla. ....	66
Tabla 16: Proctor modificado de la muestra con 6% de Paja Toquilla. ....	66
Tabla 17: Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Ichu. ....	66
Tabla 18: Proctor modificado de la muestra con 8% de Paja Ichu. ....	67
Tabla 19: Proctor modificado de la muestra con 12% de Paja Ichu. ....	67
Tabla 20: Resistencia a compresión axial del adobe patrón. ....	67
Tabla 21: Resistencia a compresión axial con adición de 2% paja toquilla. ....	68
Tabla 22: Resistencia a compresión axial con adición de 4% paja toquilla. ....	68
Tabla 23: Resistencia a compresión axial con adición de 6% paja toquilla. ....	69
Tabla 24: Resistencia a compresión axial con adición de 4% paja ichu. ....	69
Tabla 25: Resistencia a compresión axial con adición de 8% paja ichu. ....	70
Tabla 26: Resistencia a compresión axial con adición de 12% paja ichu. ....	70
Tabla 27: Contenido de Humedad – ASTM D2216. ....	90
Tabla 28: Límite Líquido (LL) – ASTM D4318. ....	90

Tabla 29: Límite Plástico (LP) – ASTM D4318. ....	90
Tabla 30: Granulometría por lavado – ASTM D421. ....	91
Tabla 31: Proctor modificado de la muestra patrón – ASTM D1557. ....	92
Tabla 32: Proctor modificado de la muestra con 2% de Paja Toquilla – ASTM D1557. ....	93
Tabla 33: Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Toquilla – ASTM D1557. ....	94
Tabla 34: Proctor modificado de la muestra con 6% de Paja Toquilla – ASTM D1557. ....	95
Tabla 35: Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Ichu – ASTM D1557. ....	96
Tabla 36: Proctor modificado de la muestra con 8% de Paja Ichu – ASTM D1557. ....	97
Tabla 37: Proctor modificado de la muestra con 12% de Paja Ichu – ASTM D1557. ....	98
Tabla 38: Dimensiones de la muestra A-1. ....	99
Tabla 39: Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-1. ....	99
Tabla 40: Dimensiones de la muestra A-2. ....	100
Tabla 41: Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-2. ....	100
Tabla 42: Dimensiones de la muestra A-3. ....	101
Tabla 43: Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-3. ....	101
Tabla 44: Dimensiones de la muestra A-4. ....	102
Tabla 45: Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-4. ....	102
Tabla 46: Dimensiones de la muestra A-5. ....	103
Tabla 47: Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-5. ....	103
Tabla 48: Dimensiones de la muestra A-6. ....	104
Tabla 49: Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-6. ....	104
Tabla 50: Dimensiones de la muestra A-7. ....	105
Tabla 51: Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-7. ....	105
Tabla 52: Dimensiones de la muestra A-8. ....	106
Tabla 53: Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-8. ....	106
Tabla 54: Dimensiones de la muestra B-1. ....	107
Tabla 55: Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-1. ....	107
Tabla 56: Dimensiones de la muestra B-2. ....	108
Tabla 57: Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-2. ....	108
Tabla 58: Dimensiones de la muestra B-3. ....	109
Tabla 59: Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-3. ....	109

Tabla 60: Dimensiones de la muestra B-4.....	110
Tabla 61: Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-4.....	110
Tabla 62: Dimensiones de la muestra B-5.....	111
Tabla 63: Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-5.....	111
Tabla 64: Dimensiones de la muestra B-6.....	112
Tabla 65: Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-6.....	112
Tabla 66: Dimensiones de la muestra B-7.....	113
Tabla 67: Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-7.....	113
Tabla 68: Dimensiones de la muestra B-8.....	114
Tabla 69: Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-8.....	114
Tabla 70: Dimensiones de la muestra C-1.....	115
Tabla 71: Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-1.....	115
Tabla 72: Dimensiones de la muestra C-2.....	116
Tabla 73: Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-2.....	116
Tabla 74: Dimensiones de la muestra C-3.....	117
Tabla 75: Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-3.....	117
Tabla 76: Dimensiones de la muestra C-4.....	118
Tabla 77: Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-4.....	118
Tabla 78: Dimensiones de la muestra C-5.....	119
Tabla 79: Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-5.....	119
Tabla 80: Dimensiones de la muestra C-6.....	120
Tabla 81: Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-6.....	120
Tabla 82: Dimensiones de la muestra C-7.....	121
Tabla 83: Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-7.....	121
Tabla 84: Dimensiones de la muestra C-8.....	122
Tabla 85: Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-8.....	122
Tabla 86: Dimensiones de la muestra D-1. ....	123
Tabla 87: Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-1. ....	123
Tabla 88: Dimensiones de la muestra D-2. ....	124
Tabla 89: Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-2. ....	124
Tabla 90: Dimensiones de la muestra D-3. ....	125



Tabla 91: Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-3. ....	125
Tabla 92: Dimensiones de la muestra D-4. ....	126
Tabla 93: Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-4. ....	126
Tabla 94: Dimensiones de la muestra D-5. ....	127
Tabla 95: Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-5. ....	127
Tabla 96: Dimensiones de la muestra D-6. ....	128
Tabla 97: Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-6. ....	128
Tabla 98: Dimensiones de la muestra D-7. ....	129
Tabla 99: Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-7. ....	129
Tabla 100: Dimensiones de la muestra D-8. ....	130
Tabla 101: Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-8. ....	130
Tabla 102: Dimensiones de la muestra E-1.....	131
Tabla 103: Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-1.....	131
Tabla 104: Dimensiones de la muestra E-2.....	132
Tabla 105: Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-2.....	132
Tabla 106: Dimensiones de la muestra E-3.....	133
Tabla 107: Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-3.....	133
Tabla 108: Dimensiones de la muestra E-4.....	134
Tabla 109: Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-4.....	134
Tabla 110: Dimensiones de la muestra E-5.....	135
Tabla 111: Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-5.....	135
Tabla 112: Dimensiones de la muestra E-6.....	136
Tabla 113: Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-6.....	136
Tabla 114: Dimensiones de la muestra E-7.....	137
Tabla 115: Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-7.....	137
Tabla 116: Dimensiones de la muestra E-8.....	138
Tabla 117: Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-8.....	138
Tabla 118: Dimensiones de la muestra F-1.....	139
Tabla 119: Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-1.....	139
Tabla 120: Dimensiones de la muestra F-2.....	140
Tabla 121: Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-2.....	140

Tabla 122: Dimensiones de la muestra F-3.....	141
Tabla 123: Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-3.....	141
Tabla 124: Dimensiones de la muestra F-4.....	142
Tabla 125: Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-4.....	142
Tabla 126: Dimensiones de la muestra F-5.....	143
Tabla 127: Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-5.....	143
Tabla 128: Dimensiones de la muestra F-6.....	144
Tabla 129: Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-6.....	144
Tabla 130: Dimensiones de la muestra F-7.....	145
Tabla 131: Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-7.....	145
Tabla 132: Dimensiones de la muestra F-8.....	146
Tabla 133: Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-8.....	146
Tabla 134: Dimensiones de la muestra G-1.....	147
Tabla 135: Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-1.....	147
Tabla 136: Dimensiones de la muestra G-2.....	148
Tabla 137: Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-2.....	148
Tabla 138: Dimensiones de la muestra G-3.....	149
Tabla 139: Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-3.....	149
Tabla 140: Dimensiones de la muestra G-4.....	150
Tabla 141: Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-4.....	150
Tabla 142: Dimensiones de la muestra G-5.....	151
Tabla 143: Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-5.....	151
Tabla 144: Dimensiones de la muestra G-6.....	152
Tabla 145: Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-6.....	152
Tabla 146: Dimensiones de la muestra G-7.....	153
Tabla 147: Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-7.....	153
Tabla 148: Dimensiones de la muestra G-8.....	154
Tabla 149: Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-8.....	154

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Adobes en proceso de secado. ....	29
Figura 2: Tendido de adobes al sol.....	30
Figura 3: Adobes hechos de forma manual. ....	31
Figura 4: Proceso de construcción o ensayo del adobe. ....	33
Figura 5: Forma que crece la Paja Ichu para el adobe.....	35
Figura 6: Paja Ichu para la elaboración de adobe.....	36
Figura 7: Pobladores de Sucre.....	38
Figura 8: Planta Toquilla.....	39
Figura 9: Utilización de la paja toquilla en sombrero. ....	39
Figura 10: Mujeres tejiendo sombreros con Paja Toquilla.....	40
Figura 11: Límites de un suelo. ....	44
Figura 12: Plasticidad para SUCS.....	50
Figura 13: Sistema de clasificación SUCS.....	51
Figura 14: Determinación límite líquido.....	62
Figura 15: Análisis granulométrico por lavado.....	91
Figura 16: Proctor modificado para la muestra patrón.....	92
Figura 17: Proctor modificado para la muestra con 2% de Paja Toquilla.....	93
Figura 18: Proctor modificado para la muestra con 4% de Paja Toquilla.....	94
Figura 19: Proctor modificado para la muestra con 6% de Paja Toquilla.....	95
Figura 20: Proctor modificado para la muestra con 4% de Paja Ichu. ....	96
Figura 21: Proctor modificado para la muestra con 8% de Paja Ichu. ....	97
Figura 22: Proctor modificado para la muestra con 12% de Paja Ichu. ....	98
Figura 23: Resumen general de resistencia a la compresión axial. ....	72
Figura 24: Lugar que se extrajo el material para la elaboración de adobes. ....	81
Figura 25: Recolección de datos en Laboratorio UPN.....	81

Figura 26: Peso de material en los ensayos. ....	81
Figura 27: Taras para los ensayos de contenido de humedad. ....	82
Figura 28: Pesando los materiales para el ensayo de Proctor modificado. ....	83
Figura 29: Mezcla para el ensayo de límite líquido. ....	83
Figura 30: Tamices para el ensayo de granulometría. ....	84
Figura 31: Seleccionar la cantidad de material. ....	84
Figura 32: Molde para realizar el Proctor modificado. ....	85
Figura 33: Seleccionando el material para el ensayo de Proctor modificado. ....	85
Figura 34: Usando el martillo para el compactado para el Proctor modificado. ....	86
Figura 35: Ensayo de Proctor modificado con material con paja. ....	86
Figura 36: Compactando el material con el martillo en el proctor modificado. ....	87
Figura 37: Peso de la muestra de Proctor modificado. ....	87
Figura 38: Muestra del peso y del volumen del ensayo. ....	88
Figura 39: Pesando la tara para Proctor modificado. ....	88
Figura 40: Máquina CINVA RAM para la elaboración de adobes. ....	89
Figura 41: Ensayo de resistencia a compresión axial en Laboratorio UPN. ....	89
Figura 42: Esfuerzo vs deformación A-1, 0% fibras. ....	99
Figura 43: Esfuerzo vs deformación A-2, 0% fibras. ....	100
Figura 44: Esfuerzo vs deformación A-3, 0% fibras. ....	101
Figura 45: Esfuerzo vs deformación A-4, 0% fibras. ....	102
Figura 46: Esfuerzo vs deformación A-5, 0% fibras. ....	103
Figura 47: Esfuerzo vs deformación A-6, 0% fibras. ....	104
Figura 48: Esfuerzo vs deformación A-7, 0% fibras. ....	105
Figura 49: Esfuerzo vs deformación A-8, 0% fibras. ....	106
Figura 50: Esfuerzo vs deformación B-1, 2% fibras. ....	107
Figura 51: Esfuerzo vs deformación B-2, 2% fibras. ....	108
Figura 52: Esfuerzo vs deformación B-3, 2% fibras. ....	109

Figura 53: Esfuerzo vs deformación B-4, 2% fibras.....	110
Figura 54: Esfuerzo vs deformación B-5, 2% fibras.....	111
Figura 55: Esfuerzo vs deformación B-6, 2% fibras.....	112
Figura 56: Esfuerzo vs deformación B-7, 2% fibras.....	113
Figura 57: Esfuerzo vs deformación B-8, 2% fibras.....	114
Figura 58: Esfuerzo vs deformación C-1, 4% fibras.....	115
Figura 59: Esfuerzo vs deformación C-2, 4% fibras.....	116
Figura 60: Esfuerzo vs deformación C-3, 4% fibras.....	117
Figura 61: Esfuerzo vs deformación C-4, 4% fibras.....	118
Figura 62: Esfuerzo vs deformación C-5, 4% fibras.....	119
Figura 63: Esfuerzo vs deformación C-6, 4% fibras.....	120
Figura 64: Esfuerzo vs deformación C-7, 4% fibras.....	121
Figura 65: Esfuerzo vs deformación C-8, 4% fibras.....	122
Figura 66: Esfuerzo vs deformación D-1, 6% fibras.....	123
Figura 67: Esfuerzo vs deformación D-2, 6% fibras.....	124
Figura 68: Esfuerzo vs deformación D-3, 6% fibras.....	125
Figura 69: Esfuerzo vs deformación D-4, 6% fibras.....	126
Figura 70: Esfuerzo vs deformación D-5, 6% fibras.....	127
Figura 71: Esfuerzo vs deformación D-6, 6% fibras.....	128
Figura 72: Esfuerzo vs deformación D-7, 6% fibras.....	129
Figura 73: Esfuerzo vs deformación D-8, 6% fibras.....	130
Figura 74: Esfuerzo vs deformación E-1, 6% fibras.....	131
Figura 75: Esfuerzo vs deformación E-2, 4% fibras.....	132
Figura 76: Esfuerzo vs deformación E-3, 4% fibras.....	133
Figura 77: Esfuerzo vs deformación E-4, 4% fibras.....	134
Figura 78: Esfuerzo vs deformación E-5, 4% fibras.....	135
Figura 79: Esfuerzo vs deformación E-6, 4% fibras.....	136

Figura 80: Esfuerzo vs deformación E-7, 4% fibras. ....	137
Figura 81: Esfuerzo vs deformación E-8, 4% fibras. ....	138
Figura 82: Esfuerzo vs deformación F-1, 8% fibras. ....	139
Figura 83: Esfuerzo vs deformación F-2, 8% fibras. ....	140
Figura 84: Esfuerzo vs deformación F-3, 8% fibras. ....	141
Figura 85: Esfuerzo vs deformación F-4, 8% fibras. ....	142
Figura 86: Esfuerzo vs deformación F-5, 8% fibras. ....	143
Figura 87: Esfuerzo vs deformación F-6, 8% fibras. ....	144
Figura 88: Esfuerzo vs deformación F-7, 8% fibras. ....	145
Figura 89: Esfuerzo vs deformación F-8, 8% fibras. ....	146
Figura 90: Esfuerzo vs deformación G-1, 12% fibras. ....	147
Figura 91: Esfuerzo vs deformación G-2, 12% fibras. ....	148
Figura 92: Esfuerzo vs deformación G-3, 12% fibras. ....	149
Figura 93: Esfuerzo vs deformación G-4, 12% fibras. ....	150
Figura 94: Esfuerzo vs deformación G-5, 12% fibras. ....	151
Figura 95: Esfuerzo vs deformación G-6, 12% fibras. ....	152
Figura 96: Esfuerzo vs deformación G-7, 12% fibras. ....	153
Figura 97: Esfuerzo vs deformación G-8, 12% fibras. ....	154

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Contenido de humedad.....	62
Ecuación 2: Índice de plasticidad.....	64
Ecuación 3: Porcentaje de pesos retenidos.....	64
Ecuación 4: Porcentaje retenido acumulado. ....	65
Ecuación 5: Porcentaje que pasa. ....	65
Ecuación 6: Densidad Seca. ....	65
Ecuación 7: Esfuerzo axial simple. ....	71

## RESUMEN

La finalidad de la investigación fue calcular la resistencia axial con adicción de Paja Toquilla y Paja Ichu, para ello se extrajo el suelo de la cantera “El Tambo” – Cruz Blanca. Todos aquellos procesos para la elaboración de adobes reforzados, se realizó los estudios necesarios como: análisis granulométrico, límites de consistencia, etc. Después se lo clasificó al suelo y conocer si cumple con la norma E-080. Se realizó el ensayo Proctor modificado para determinar el contenido de humedad óptimo para la elaboración de los adobes. Los resultados calculados en laboratorio demostraron que la resistencia axial del adobe patrón es 20.18 kg/cm<sup>2</sup> y al adicionarle la Paja Toquilla al 6% se incrementó a 29.14 kg/cm<sup>2</sup>, con respecto a la Paja Ichu al adicionarle 4% la resistencia aumentó a 28.11 kg/cm<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos demostraron que son mayores que la resistencia mínima que especifica en la norma E-080. Por lo tanto, los adobes con mejores resultados son con adicción de Paja Toquilla al 6%. Por lo que se demuestra que la hipótesis cumple de manera parcial, los resultados indican que los adobes al agregarle Paja Toquilla y otros adobes con Paja Ichu aumentan la resistencia axial. Pero no aumentan en los valores esperados como se plantean en la hipótesis. Dependiendo del tipo de suelo a utilizar puede variar dichos valores, según AASHTO el suelo a emplear es A-6(5) y SUCS el material utilizado para los adobes es CL.

**Palabras clave:** Adobe, resistencia, paja toquilla, paja ichu, suelo.



## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El adobe es uno de los materiales más antiguos y ampliamente usado para la construcción de vivienda; presentando ventajas tales como: mejorar su resistencia a los sismos mediante refuerzo de fibras naturales o sintéticas, se dispone del material en el lugar de su producción evitando el transporte, por sus propiedades térmicas permite reducir el consumo de energía para la climatización de la vivienda, preserva el medio ambiente de la contaminación al no pasar por la fase de horneado, al llegar al término de su vida útil pueden volver a utilizarse o asimilarse nuevamente al medio natural (Caballero, Silva y Montes, 2010).

La tierra ha sido utilizada para la construcción no solo de viviendas sino también para templos la cual se realizaba con elementos de adobe, ladrillos secados al sol y, en contados casos, de ladrillo cocido. Si nos han quedado restos de edificaciones antiguas que nos permiten su construcción, ha sido por la solidez y la riqueza constructiva, pero no por una diferencia sustancial de materiales (Cano, 2008).

El suelo es un material de origen natural y además está disponible en abundancia, por lo que ha sido utilizada alrededor del mundo. Su uso abre la posibilidad a la construcción sostenible, reduciendo el gasto en materiales de construcción industrializados, cubriendo las necesidades sociales y culturales de vivienda, al garantizar la satisfacción de demanda de vivienda a bajo costo (Ríos, 2010).

Además, según Juárez, Raymundo y Rechy (2004) los bloques que se le adicionan fibras que se obtienen en la naturaleza como la paja, como paja toquilla o paja ichu, que encuentran en el campo y es más económico para los pobladores que viven en dicha zona, se pueden utilizar para reforzar los adobes para incrementar la resistencia a compresión y su utilización en viviendas.

Según Zelaya (2007), la tierra en forma de unidades de albañilería (adobe) ha sido a lo largo de la historia uno de los materiales más utilizados para las construcciones de edificaciones en gran parte del Perú. Sin embargo, debido a su vulnerabilidad a la acción del agua y a los sismos, ha caído en un retroceso en su aplicación como material de construcción.

Para Carcedo (2012), el adobe es una pieza maciza de barro sin cocer. Las dimensiones de la pieza varían entre 30 y 40 centímetros de largo y corresponde a una relación usual de 1:1/2:1/4 respecto a la dimensión mayor. La técnica no implica moldear la tierra in situ, sino que se moldea por piezas de forma prismática.

Existe una gran cantidad de viviendas construidas con este material en zonas sísmicas, por lo cual merece especial atención el estudio de las características de la materia prima del mismo, ya que la principal causa de colapso en casas de adobes debido a los sismos es atribuible a las pobres propiedades mecánicas del material y a su deterioro por el tiempo y agentes climáticos (Ríos, 2010).

La causa del mal comportamiento sísmico de estas construcciones se debe a su gran peso de la estructura, a su baja resistencia y a su comportamiento frágil. Durante sismos severos, estas construcciones desarrollan grandes fuerzas de inercia que son incapaces de resistir y por ello fallan violentamente (Blondet, Villa y Brzev, 2003).

Alrededor del 30% de la población mundial vive en construcciones de tierra. Aproximadamente el 50% de la población de los países en desarrollo, incluyendo la mayoría de la población rural y por lo menos el 20% de la población urbana y urbano marginal, viven en casas de tierra (Houben y Guillaud, 1994).

El adobe representa el primer material predominante en el distrito de Baños del Inca y en el distrito de Cajamarca, sin embargo, no existen grandes diferencias

cualitativas entre las viviendas de una y otra zona por lo que son muy parecidas (Fondo mi Vivienda, 2018).

De acuerdo con la norma E. 030 (2018), se plantea que Cajamarca se encuentra en una zona 3 de alta sismicidad teniendo en cuenta la NTP E.030 de diseño sismo resistente y también observada el crecimiento urbano desmedido que está teniendo la región, ya que se construye con adobes normales. La información que genere la investigación podrá ser útil para mejorar la construcción con este material, reforzado que permitirá tener edificaciones más seguras ante desastres naturales.

La gran necesidad de tener una vivienda en la ciudad de Cajamarca en especial en la zona rural, obliga a buscar alternativas de solución, en la actualidad la mayoría de la población está dejando de construir con el adobe; sin embargo, en la zona rural se sigue utilizando con gran intensidad a pesar de que estas viviendas no tienen mucha resistencia a los movimientos sísmicos y su poca durabilidad por la falta de conocimiento del adobe reforzado.

Teniendo en cuenta que la población cajamarquina tanto en el ámbito urbano como en la rural todavía usa el adobe como material de construcción; sin embargo, este no es muy resistente a fuerza externas; es por ello que se busca otras alternativas, que mediante estudios eficientes permitan mejorar este material, pues al estabilizar el adobe con otros materiales se obtiene mayor resistencia (Briones y Estrada, 2018).

La presente investigación se va a analizar la posibilidad de utilizar los adobes compactados con adición de diferentes tipos de fibras vegetales como Paja Toquilla y Paja Ichu en la construcción de viviendas como alternativa a los adobes compactados sin adición, mediante la aplicación de los conceptos y las fórmulas básicas.

De acuerdo con Soberón, (2014), realizó una evaluación experimental del adobe agregándole cascarilla de arroz. El estudio comprendió en la elaboración de especímenes de adobe con cascarilla de arroz, los cuales fueron sometidos a pruebas de laboratorio para compararlos con el adobe tradicional. Concluyendo que el adobe mejorado incremento la resistencia a la compresión con respecto al adobe tradicional de 1.31 MPa a 2.37 MPa, es decir que la resistencia incremento un 75.3%. También se incrementó la resistencia a la flexión de 2.6 kg/cm<sup>2</sup> a 6.2 kg/cm<sup>2</sup>, así como también una reducción en la absorción retardando la saturación del material.

Benites (2017), con el objetivo de evaluar la factibilidad de un polímero natural local (Cabuya andina) como estabilizador del adobe tradicional y las condiciones necesarias para garantizar su acción estabilizante. Los resultados demuestran que el extracto de Cabuya necesita un tiempo mínimo de maceración de 5 días y un óptimo de 10 para activar sus propiedades estabilizantes y lograr mejorar significativamente la resistencia al agua del adobe. La resistencia a la compresión y a la flexión mejoran en un 9,6% y 133,7% respectivamente, mientras que la resistencia a la acción del agua mejora notablemente, haciéndolo competitivo con otros materiales estabilizantes como la cal o el cemento.

Según Bardales y Sánchez (2015), su objetivo fue comparar la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y absorción de agua del adobe tradicional y adobe estabilizado y compactado con cemento (Tipo I), yeso, cal o grout, nos dice que, al comparar los resultados, los adobes de cemento, yeso, cal y grout, superaron la resistencia a la compresión del adobe tradicional hasta en 5 veces (cemento 12%).

Los filamentos, sin embargo, son hebras continuas, por lo que su calidad va en función de su suavidad y resistencia. Sus composiciones son químicas y varían en su forma, estructura, tamaño y textura (Tuerca, 2016).

Según Juárez, Rivera y Rechy (2004) realizó una investigación sobre fibras cortas y largas distribuidas, para lo cual se usaron fibras cortadas del bagazo de caña, usando las siguientes longitudes: 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 y 300 mm. Así también, la cantidad de fibra se investigó probando los siguientes porcentajes del volumen total de la mezcla: 0.5, 1, 1.5 y 2%. Todos los especímenes se ensayaron a los 14 días.

Montes (2009), con el objeto de incrementar su resistencia y cumplir con los requerimientos de la norma N-CMT-2-01-001/02, encontró que el adobe compactado sin refuerzo tiene baja resistencia a la flexión (0,56 MPa) y a la compresión (6,85 MPa). Para determinar en el adobe el incremento de la resistencia, se realizaron pruebas con adobes compactados hechos con suelo previamente seleccionado y caracterizado; posteriormente a ese mismo suelo se incorporó la fibra con longitudes de 10, 15, 20 y 25 mm, en una proporción de 0,25; 0,50; 0,75 y 1% del peso del adobe, manteniendo constante el porcentaje de humedad.

Los valores muestran que con la adición de fibra al adobe en una concentración de 1% y con longitud de 25 mm, se incrementó la resistencia a la compresión en 24,12% con un valor de 8,51 MPa. En la resistencia a la flexión hubo un incremento de 7,86% con respecto al adobe sin fibra con un valor de 0,60 MPa al incorporarle fibra con una concentración de 0,75% y longitud de 25 mm (Montes, 2009).

Los suelos "SC" según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos han ofrecido resistencias a compresión simple superiores a 1 MPa (10 kp/cm<sup>2</sup>), dándose la

circunstancia de que todos ellos tienen un contenido de arena superior al 50% (Saroza, Rodríguez y Menéndez, 2008).

Los suelos “SC” son aptos para la elaboración de adobes con fines constructivos. No obstante, es aconsejable añadirles una cantidad de fibra orgánica en una relación volumétrica suelo/fibra orgánica de 4, pues es la que en todos los casos ha conferido al adobe la mayor resistencia a compresión (Saroza, Rodríguez y Menéndez, 2008).

Se obtuvieron los datos de las fibras como su diámetro, longitud promedio, % de absorción de agua. También, se observó su morfología con micrografías de la sección transversal. Las propiedades físicas obtenidas fueron el esfuerzo último a la tracción y la elongación a la ruptura (Juárez, Rivera y Rechy, 2004).

De acuerdo con Juárez, et. al (2004) investigó que varios ensayos realizadas a las fibras fueron hechas en el laboratorio a una temperatura de 23°C. El diámetro de la fibra fue medido en ambos extremos con un vernier digital de 0.01 mm de precisión, el diámetro mayor corresponde al extremo anexo al tallo y disminuye gradualmente hasta la punta. La longitud total es también variable con un promedio de 451 mm, lo que resulta menor a las longitudes reportadas para el sisal y el maguey (Tabla 1).

Tabla 1  
*Valores típicos de diámetro y longitud de la fibra.*

<b>Cantidad de fibras</b>	<b>Diámetro máximo (mm)</b>	<b>Diámetro mínimo (mm)</b>	<b>Longitud total (mm)</b>
Promedio			
100	0.26	0.16	451
Desviación estándar			
100	0.07	0.05	58

Fuente: Juárez, Rivera y Rechy (2004).

Las fibras son elementos básicos de cualquier tejido y cada fibra posee unas características únicas de animal, vegetal o sintética. Estas fibras son hilos los que, mediante el hilado u otro proceso físico-químico, permiten la realización de un sinnúmero de tejidos. Cuanto más larga y fina sea la fibra, de mejor calidad será (Tuerca, 2016).

Además, el agua que absorben las fibras origina una inestabilidad en su volumen que propicia la pérdida de adherencia ... En la tabla 2 se puede observar que el agua se absorbe rápidamente con poco tiempo de saturación, esto puede deberse a la acción capilar de las microceldas de la fibra (Juárez, et al, 2004).

La alta absorción de agua está relacionada con la porosidad de la fibra. Se realizaron pruebas de porosidad en dos muestras de fibra sin ningún tratamiento. La muestra 1 contenía fibras con diámetros de 0.15 a 0.25 mm y la muestra 2 estaba formada por fibras con diámetros de 0.25 a 0.35 mm. (Tabla 2) (Juárez, et al, 2004).

Tabla 2  
*Porcentaje de absorción de agua en las fibras.*

Muestra	Tiempo de saturación (min)	Peso seco (g)	Peso SSS (g)	Peso del agua absorbida (g)	Absorción relativa al peso seco (%)
1	5	0.95	1.71	0.76	80
2	15	0.99	1.77	0.78	79
3	30	0.99	1.83	0.84	85
4	60	0.95	1.85	0.90	95
5	1440 (24h)	0.95	1.88	0.93	98

Fuente: Juárez, Rivera y Rechy (2004).

Se realizó un estudio sobre el uso de fibras poliméricas como refuerzo a los estucos de mortero para adobe. Para ellos desarrollaron en laboratorio una muestra

normal del adobe tradicional y muestras con adiciones de fibras, en diferentes dosificaciones, las cuales fueron expuestas a los ensayos de flexión y compresión. En la cual se estableció que las fibras añadidas a la mezcla de barro contribuyen al aumento de la resistencia de flexión y compresión. Así también se estableció que la incorporación de fibras disminuye la capacidad de deformación producto a acciones de flexión y compresión. Sin embargo, esta hipótesis queda condicionada al tipo de fibra a utilizar y al modelo matemático establecido para ello (Prado y Gonzales, 2012).

De acuerdo con Juárez, et al (2004) esta microestructura origina que la fibra posea una alta permeabilidad. Al saturarse absorben una cantidad de agua de casi el 100 % de su peso seco.

Morales, Ortiz & Alavéz, 2007, en México se elaboraron series de cinco adobes compactados, sin cementante y estabilizados con ocho porcentajes de cemento que variaron entre el 2% y el 16% en peso. Los resultados demuestran una mejoría en la resistencia del adobe para porcentajes de cemento del 2% al 8% con 28 días de curado, y buena adherencia cuando se emplearon morteros 1:2 y 1:3.

Según Carhuanambo (2016), con el objetivo de evaluar la adición de la viruta y aserrín de eucalipto en porcentajes de 1,5%, 3,0% y 4,5% se obtuvieron una resistencia mínima de 28,04 Kg/cm<sup>2</sup> con adición de viruta; por otro lado, las unidades con adición de aserrín obtuvieron una resistencia mínima de 13,64 Kg/cm<sup>2</sup>, ambas en compresión.

Bolaños (2016), con el objetivo de evaluar la resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna. Para ello se tomaron 96 bloques de tierra, siguiendo la normatividad, encontrándose para el ensayo a compresión, en mitades que todos los adobes superan la resistencia mínima que indica la norma técnica de edificaciones E.080, los resultados de la muestra patrón y con



goma de tuna de 5%, 10% y 15% presentan valores de 19,19 kg/cm<sup>2</sup>, 21,90 kg/cm<sup>2</sup>, 25,27 kg/cm<sup>2</sup> y 27,56 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, siendo el adobe con mejor resistencia a la compresión el de 15% con goma de tuna.

Según Lobato (2018), los ensayos demostraron que el incremento de la resistencia a compresión axial al agregar paja toquilla es de 38.5%, al agregar una concentración de 0.75%. La adición de paja toquilla de 1, 2 y 3 pulgadas alcanzan una resistencia compresión axial de 32.643 kg/cm<sup>2</sup>, 29.00 kg/cm<sup>2</sup> y 30.684 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente con un incremento de 38.5% con respecto a la muestra patrón que se obtuvo una resistencia de 22.215 kg/cm<sup>2</sup>.

Los bloques de adobe elaborados con adición de paja ichu en porcentajes del 5%, 10% y 15% superan su resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón en un 47.02%, 33.48% y 17.79% respectivamente (Briones y Estrada, 2018).

La resistencia a flexión del bloque de adobe estabilizado y compactado, en porcentajes de 8, 10, 12 y 14% de cemento, presentó valores de 9.65, 10.33, 10.63 y 12.57 respectivamente, siendo mayores al valor de un adobe tradicional (5.60 kg/cm<sup>2</sup>) y con una dosificación de 14% de cemento, el bloque de adobe estabilizado y compactado, resultó ser más resistente que los ladrillos de arcilla de fábrica y artesanal (Bolaños, 2016).

Según Carrillo, Aperador y Gonzales (2012) para proveer comportamiento adecuado antes y después de agrietamiento, ha ganado gran popularidad en las últimas décadas. De acuerdo con los lineamientos del ACI-318 (2011), con los resultados de investigaciones previas (Ávila et. al., 2011), se utilizaron las fibras Dramix ZP-306, RC-65/35-BN y RC-80/60-BN, con relaciones longitud-diámetro ( $l_f / d_f$ ) de 55, 64 y 80, respectivamente.

Según Roux y Olivares (2002), una alternativa de mejora del ladrillo de adobe estabilizado con cemento gris al 6%. Este elemento constructivo se analiza como un material regional de bajo costo y con la posibilidad de ser utilizado en los muros de carga de viviendas de interés social. Dicha mejora es la inclusión de la fibra de coco, como material de refuerzo. De los laboratorios realizados se observó que el mejor porcentaje de fibra de coco para adicionar es del 1%. Presenta mejores características que las demás poblaciones, excepto en su permeabilidad, que es mayor y que tienen mejores características los ladrillos realizados con la prensa hidráulica que con la manual.

A esta conclusión se llega porque los fabricados con la prensa hidráulica obtuvieron incrementos de resistencia a la compresión simple en estado seco de un 272,7% a la primera grieta y de un 249,2% a la rotura total, por lo que respecta a la flexión tuvieron un incremento del 191,1 % con respecto a los fabricados con prensa manual. En conclusión, la fibra de coco, se puede confirmar que presenta buenas características para ser utilizada como material de refuerzo en ladrillos de adobe (Roux y Olivares, 2002).

Según Soto (2016), la incorporación de Bentonita Sódica, en niveles de 8, 12 y 16% en el adobe compactado de las canteras de Jesús, Namora y Llacanora mejoraron sus propiedades mecánicas, en resistencia a compresión hasta en 46.19, 69.82 y 49.91% respectivamente y paulatinamente (de acuerdo al aumento de bentonita sódica) con respecto al valor encontrado para los especímenes de la muestra patrón; en resistencia a flexión aumentaron hasta en un 27.33, 67.27 y 59.61% respectivamente, con respecto a la muestra patrón mejorando conforme a la adición de bentonita sódica haciéndolo un material más resistente.

De los resultados obtenidos se seleccionaron las posibles sustancias protectoras.

Posteriormente se impregnaron con estas sustancias lotes de 120 fibras cada uno, los cuales fueron sometidos a un medio alcalino ( $\text{pH} = 12.5$ ) producido por una solución de hidróxido de calcio y agua. Se ensayaron a tensión a los 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 y 12 meses de exposición al medio alcalino. Además, se determinó el porcentaje de absorción de agua en fibras previamente impregnadas con las sustancias protectoras (Juárez, et. al., 2004).

Según Morales, Ortiz y Alavés (2007), nos dice que la adición del cemento tipo Portland como estabilizante en los adobes compactados, contribuye a mejorar notablemente las características mecánicas, se encontró que la resistencia a la compresión de los adobes compactados, tanto a la primera grieta como a la ruptura total, se incrementó notablemente con los contenidos del 4% al 8% de cemento en la mezcla, respecto a los adobes control; a partir del 8% y hasta el 16% respecto a las pruebas de flexión se observó una pérdida de ésta al adicionarle cemento a la mezcla, misma que es recuperada en los porcentajes de 12% y superiores de cemento, respecto a las pruebas de absorción en agua durante 24 horas, se detectó una ligera disminución conforme se incrementó la presencia de cemento en la mezcla.

Según Mejía (2014), nos dice que la resistencia a compresión del bloque de adobe estabilizado y compactado, en porcentajes de 8, 10, 12 y 14% de cemento, presentó valores de 35.63, 46.24, 49.50 y 52.36  $\text{kg/cm}^2$  respectivamente, siendo mayores al valor de un adobe tradicional (15.28  $\text{kg/cm}^2$ ) o lo especificado por la Norma de Adobe E. 080 (12  $\text{kg/cm}^2$ ) y en dosificaciones de 12 y 14%, cumple con las características de la Norma de Albañilería E. 070, para ser usado como un Bloque Portante (50  $\text{kg/cm}^2$ ).

Los adobes de cemento y yeso superaron la resistencia a la flexión del adobe tradicional hasta en 3.5 veces (cemento 14%) y sólo los adobes de cemento superaron el ensayo de absorción, con un porcentaje menor al 22% (Bolaños, 2016).

Los adobes elaborados con cemento al 14% y al 12% fueron los únicos bloques que soportaron el ensayo de absorción, presentando absorciones de 11.55% y 12.30% respectivamente, siendo ambas menores al 22% que es el valor que indica la norma (Bolaños, 2016).

Los adobes elaborados con yeso y cal, al ser sumergidos en agua se desmoronaron, siendo los adobes de yeso los que menos tiempo tardaron en dicho proceso (3 minutos aproximadamente), siguiendo los de cal (10 minutos aproximadamente) y por último los de grout que resistieron 24 horas, pero presentaron deformaciones en las aristas (Bolaños, 2016).

### **El adobe como material de construcción**

Es el material compuesto de distintas partículas sólidas como gravas, arenas, limos y arcillas. De acuerdo con Ríos (2010) existen distintas definiciones de la meteorización de las arcillas. En un sentido estricto, la arcilla es el resultado del paso del tiempo sobre los minerales que se formaron hace millones de años y que le confirieron la composición química que actualmente posee dicho material.

Si analizamos los resultados de los censos de vivienda que se han realizado en el Perú en los últimos 30 años, notamos que a nivel nacional, existe gran cantidad de viviendas construidas con tierra cruda (aprox. 40%), sea en forma de tapial o de adobe, pero este porcentaje va disminuyendo, debido a que en las zonas urbanas se están demoliendo las edificaciones de adobe para dar paso a

nuevas edificaciones de ladrillo y concreto armado, generalmente multifamiliares debido a las necesidades del crecimiento urbano y a los cambios de zonificación. En las zonas rurales continúa utilizándose el adobe y tapial, llegando a más del 60% (Zelaya, 2007).



*Figura 1.* Adobes en proceso de secado. Fuente: Edificaciones antisísmicas de adobe, 2010.

Según Ríos (2010) las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan. El adobe puede ser descrito como el producto de la mezcla de arena, arcilla y fibras. Además, debido a su origen, se dispone en la mayor parte del planeta, y no se requiere una gran cantidad de energía para su producción para elaborar adobes (Goodhew, 2005).

Por tanto, la arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las

fracciones con un tamaño de grano inferior a 2mm. Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldspatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2 mm. (García, 2005).



*Figura 2.* Tendido de adobes al sol. Fuente: Características sísmicas de las construcciones de tierra en el Perú, 2006.

Según Ríos (2010) este material ha sido utilizado como un material de construcción milenario y sigue siendo usado en algunos países, independientemente de su resistencia mecánica limitada, su alta absorción de agua y de la escasa legislación vigente en la mayoría de los países respecto a dicho material.

Pero debido a la intervención de agentes como: lluvia, viento y sismos, además de la naturaleza propia de los suelos con los que se elaboran, las arcillas en el mayor de los casos, tienden a mostrar afinidad por el agua, lo que reduce la resistencia, así como la desintegración de los mismos al entrar en contacto con el agua, por lo que la durabilidad de las estructuras construidas con este material

es relativamente corta, ya que dichos factores propician la erosión, fisuración y agrietamiento de las piezas llevándolas al desgaste parcial o total (Ríos, 2010).

Debido a estudios y las mejoras que se han logrado con ello, dicho material está ganando importancia en la construcción en países desarrollados, por lo que es necesario promover el uso de materiales suplementarios que estén disponibles en la región (Delgado, 2006).



*Figura 3.* Adobes hechos de forma manual. Fuente: Edificaciones antisísmicas de adobe, 2010.

Para mejorar las propiedades físicas del adobe se han realizado una gran cantidad de adiciones de materiales suplementarios tales como: cemento, cal, fibras naturales y paja. A pesar del impacto positivo de estas adiciones en la calidad del adobe, se ha puesto poca atención en los efectos sobre la microestructura de tal material (Younoussa, 2008).

Según Ríos (2010), el comportamiento del adobe está ligado a las condiciones y constitución del suelo con que éste se elabora. Un suelo excesivamente arcilloso exigirá la incorporación de una mayor proporción de

otros componentes para balancear su capacidad de contracción-expansión que puede conducir a fisuras y deformaciones.

Por la naturaleza de los materiales que lo constituyen, así como su proceso de fabricación, el adobe no requiere del uso de combustibles, por lo que representa un ahorro económico estimado en el 40% con relación al ladrillo de barro recocido, puesto que este material no requiere de un proceso de cocción a diferencia del ladrillo (Regalado, 2007).

Una de las desventajas más significativas del adobe tradicional, después de sus prestaciones mecánicas limitadas, está en la utilización de un gran número de obreros que se requiere para la elaboración, lo cual eleva el costo de las obras y llevó a considerar dicho material como de uso exclusivo de individuos con alto poder adquisitivo, además, requiere de áreas de secado muy extensas, así como de tiempos de secado variables en relación al clima (Ríos, 2010).

Dentro de las técnicas más utilizadas con el uso de la tierra como material de construcción se encuentran la tierra apisonada, adobe tradicional y adobe compactado (Jiménez y Cañas, 2005).

### **Construcción del adobe**

El adobe es un bloque elaborado artesanalmente de una mezcla a base de suelo con un contenido de materiales finos (arcilla) y de materiales gruesos (arena), así como material orgánico y agua, siendo secados preferentemente a la sombra. A este adobe lo llamamos adobe simple (Ríos, 2010).

Las arcillas son un sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas



muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 4 micras, se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados (Castro, Solleiro y Flores, 2007).

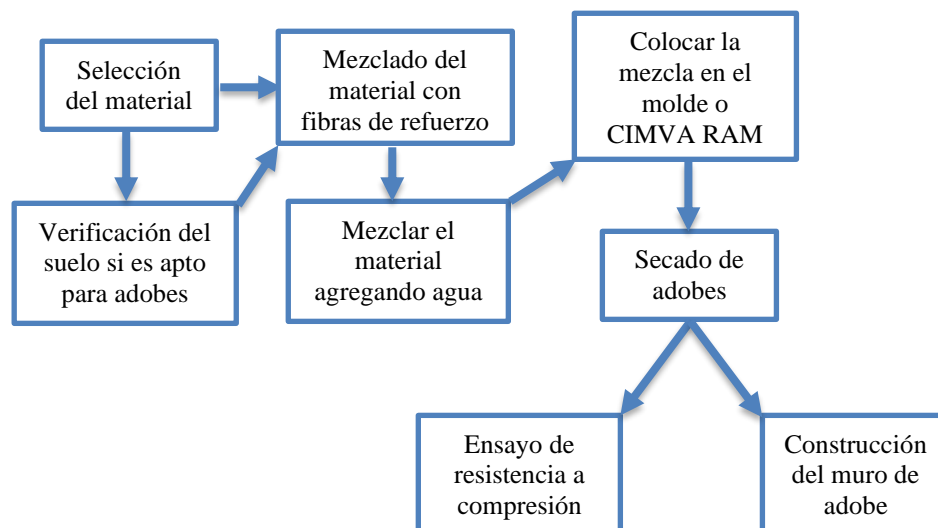


Figura 4. Proceso de construcción o ensayo del adobe. Fuente: Elaboración propia, 2020.

El material orgánico tiene como función limitar las variaciones que se producen en el adobe durante el proceso de retracción que ocurre en la etapa de secado, es decir, evitar que el adobe se fisure durante esta etapa. Además, el material orgánico le concede ligereza a la pieza, lo cual resulta muy ventajoso para su manipulación, ya que debido a su gran tamaño estos adobes suelen ser muy pesados (Montes, 2009).

De acuerdo con Ríos (2010), una de las variables que más influye en las propiedades del adobe es la relación arcilla / arena. Si no hay suficiente arcilla la mezcla del suelo con el resto de los componentes, incluyendo el agua, no será suficientemente fuerte como para lograr la consistencia necesaria que debe presentar el adobe para soportar las acciones a las que estará sometido. Si por el contrario no hay suficiente arena, el adobe se fisura por retracción durante el proceso de secado. La arcilla, actúa como aglomerante manteniendo unida la

masa, mientras que la arena sirve de esqueleto interno de la masa, además de ser la que le da resistencia la dureza al adobe. Es por esto que la combinación óptima entre ambos influye en un mejor comportamiento del adobe como material.

Otras funciones de las fibras son facilitar la aceleración del secado a través de un drenaje de la humedad hacia el exterior por los canales de la fibra, aumentar la resistencia a la tracción (éste es uno de los principales objetivos con que se utiliza la fibra) además de aumentar la resistencia a la compresión (Montes, 2009).

El Censo Nacional IX Población y IV Vivienda de 1993 reportó que el 43% (2'000,000) del total de viviendas eran de adobe y tapial Según el Censo Nacional XI Población y VI Vivienda en el 2007, esta cifra llega a 34.8% (2'230,000), si bien el porcentaje de viviendas de adobe y tapial ha disminuido en 14 años en un 8.2%, la cantidad de las mismas ha crecido en 11.5% (Quispe y Rondón, 2012).

Según INEI (2017) el último censo (Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas) en la ciudad de Cajamarca es de 213 800 habitantes, que representa el 1.1% de la población peruana.

Según Montes (2009), se han definido dos tipos de suelos apropiados para la elaboración de los adobes. Tipo I y Tipo II. El suelo Tipo I debe contener entre un 15 y un 40 % de arcilla y entre un 50 y un 70 % de arena. El suelo Tipo II puede contener limo, pero siempre y cuando el contenido de arcilla más limo esté comprendido entre el 25 y el 40 % (siendo el porcentaje de arcilla mayor del 10 %) y arena entre el 60 y el 70 %. Podemos decir que lo más importante es que

se cumpla el porcentaje de finos, no importando tanto que no se cumpla el de gruesos, pues éstos pueden añadirse posteriormente, lo que permite que el margen de suelos que se pueden utilizar para la elaboración de adobes sea más amplio.

### **La Paja Ichu**

Según Pérez (2011) la paja se ha usado siempre como material de construcción. A principios de 1900, campesinos norteamericanos la emplearon en las paredes de sus viviendas. Ahora, la paja es un material favorito para quienes quieren una vivienda con alto aislamiento, uso de energía eficiente y construida con materiales favorables al medio ambiente. Las viviendas construidas con paja son durables, calientes en el invierno y frescas durante el verano y son cómodas.



*Figura 5.* Forma que crece la Paja Ichu para el adobe. Fuente: Italo Specogna, 2006.

De acuerdo con Cárdenas (2008) nuestro país donde se sigue empleando el adobe como material de construcción, utiliza paja en la preparación de estos y también en el mortero. Su empleo es indispensable en la preparación de las tortas

de barro, que usan mucho en los techos y mortero, a fin de reducir el agrietamiento por contracción durante el secado.

La construcción con paja no requiere herramientas caras ni personal especializado, y por ello muchos propietarios abordan con éxito la construcción de su casa, a menudo con la ayuda de los vecinos que escogieron antes esa opción (Pérez, 2011).

Las propiedades de la paja no se pudieron encontrar, pero podemos decir que la paja reduce las contracciones debido al secado al aire libre de los adobes y mejora su adherencia, lo cual consigue mejorar en conjunto el muro de adobe al incrementarse su adherencia con el mortero y con los revestimientos; como la paja son de distintos tipos, es recomendable utilizar la paja picada en trozos de 5cm a 10cm y de preferencia en porcentaje de 1% en peso, el porcentaje excesivo puede reducir la resistencia del adobe (Cárdenas, 2008).



*Figura 6.* Paja Ichu para la elaboración de adobe. Fuente:  
<https://davesgarden.com/community/fp.php?pid=9655203#b>, 2009.

Según Pérez (2011) las paredes construidas con paja tienen una bella textura, y recuerdan los viejos muros de las casas de campo, una grata sensación

que se refuerza por la calidad del aire interior, debido a que los muros de paja transpiran mejor que los de cualquier otro material.

La paja que suele emplearse varía según las localidades, puede tratarse de distintos tipos como: de arroz de trigo, gras común, bagazo de caña, ichu en algunos lugares se usa guano, crines y productos similares (Cárdenas, 2008).

Además, según Pérez (2011) la paja puede conseguirse fácilmente en las zonas donde se cultive cereal como la avena, cebada, trigo o arroz; lo cual casi equivale a decir en cualquier sitio, dada la adaptación de la paja a muchos climas y altitudes.

La paja es un excelente material de construcción, que genera viviendas asequibles, naturales y bellas, con un asombroso aislamiento térmico y acústico. Son viviendas eficientes, de probada duración, y están al alcance de cualquiera, lo que las hace muy atractivas para personas con firmes principios ecológicos y gente joven autosuficiente (Pérez, 2011).

### **La Paja Toquilla**

De acuerdo con Zegarra (2010), la artesanía nace como consecuencia de la división social del trabajo y es la primera actividad económica que se aparta de la agricultura con características diferentes y con proyección industrial, se la define como el "proceso mediante el cual, materiales en bruto o parcialmente transformados desde el punto de vista industrial, son convertidos en objetos de uso para la venta... y que contribuyen a la renta en efectivo de la familia".

La paja toquilla (*Carludovica palmata*), es una de las principales fibras naturales que nos permite obtener productos del tipo artesanal a partir de ella, lo cual la convierte en una de las principales fuentes de desarrollo agro artesanal y

más aun considerando que, actualmente las fibras naturales están recuperando espacio en el mercado mundial, debido a que son insumos ventajosos en sostenibilidad y protección del medio ambiente, lo cual debería impulsar la investigación sobre las fibras naturales; sabiendo que, desde los comienzos de las civilizaciones, los Productos Forestales No Maderables (PFNM); han sostenido el desarrollo de las artesanías locales (Simbaña, 2008).



*Figura 7. Pobladores de Sucre. Fuente: Zegarra, 2010.*

Según Zegarra (2010) en la provincia de Celendín y su distrito Sucre los pobladores utilizan la paja toquilla para la producción de sombreros. Es así como de la ancestral y ardua actividad sobre la tierra, en la siembra o en la cría, muy pronto, amplios sectores de hombres y mujeres pasaron a educar y disciplinar sus manos en la laboriosa y paciente tarea del trenzado de la paja toquilla. Desde entonces, un destino envuelve a un grueso sector de familias celendinas.

Pero si algo más hay que rescatar, es que ha constituido un factor extraordinariamente estimulante en la vocación de aventura y mercantil del hombre celendino. Como pocos pueblos, los hijos de esta tierra entre los años de 1920 a 1970 y en menor medida las últimas dos décadas, se han diseminado por distintas provincias y regiones, impertérritos ante dificultades, acicateados por la sangre judía que recorre sus venas, edificando fortunas y riquezas en algunos

Efecto en la compresión axial de adobes con adición de fibras de Paja Toquilla y Paja Ichu

casos e imprimiendo el sello celendino en todo lugar de destino. El sombrero estuvo cariñosamente en el centro de todo ello (Zegarra, 2010).



*Figura 8.* Planta Toquilla. Fuente: Regalado, 2010.

La paja toquilla es de producción continua, lo que quiere decir que la planta puede ser cultivada en cualquier periodo del año. No necesita de constante cuidado. En condiciones climáticas adecuadas se producen a los dos años y medio, y la madurez necesaria para el corte se da a los tres años (Suárez, 2011).



*Figura 9.* Utilización de la paja toquilla en sombrero. Fuente: Zegarra, 2010

Es clasificada y registrada por primera vez por botánicos españoles: José Pavón e Hipólito Ruíz, con el nombre de *Carludovica palmata* en honor a Carlos IV y su esposa la Reina María Luisa”, adoptando la contracción

de los nombres latinos “Carolus” por Carlos y “Ludovicus” por Luisa, a finales del siglo XVIII (Regalado, 2010).

Según Suárez (2011) se encuentra la paja toquilla, la cuál es originaria de nuestro continente. Se la ha encontrado en diferentes lugares en especial en los países de América tropical, desde el sudeste de México hasta la parte central de Bolivia y Brasil, donde existen muchas variedades.

No se conoce con exactitud el momento y forma en que se inicia la producción sombrerera en la provincia de Celendín. Las pocas versiones que se tiene constituyen hipótesis aproximadas de ocurrido, sin embargo, tienen como punto de partida del espíritu de aventura del celendino, lo que definitivamente es así, pero se omite vincular esta actividad al contexto socio económico que se vivió por esos tiempos, consideramos que ambos factores se conjugan y tienen especial incidencia (Zegarra, 2010).



*Figura 10.* Mujeres tejiendo sombreros con Paja Toquilla. Fuente: Zegarra, 2010.

El sombrero arraigado en el quehacer cotidiano del hogar celendino, convertido en parte esencial de su existencia, año a año, década a década, va a imprimir su carácter tradicional y dar muestras evidentes de logros artísticos, testimoniando la habilidad y destreza de esta tierra (Zegarra, 2010).



Referente a la personalidad aventurera y mercantil, es necesario indicar que este fenómeno es explicable no sólo por la naturaleza interna del celendino, sino porque a raíz de la desintegración del sistema de hacienda de la provincia, que a diferencia de otros lugares se realizó hace más o menos dos siglos atrás, el campesino o poblador se desvinculó de la compleja red del servilismo feudal, las relaciones sociales fueron más abiertas y las posibilidades de movimiento espacial mejoraron (Zegarra, 2010).

De acuerdo con Suárez, (2011). En los diversos países del trópico de América, la Carludovica Palmata toma variados nombres, por la cual es conocida. Entre los nombres más populares se pueden citar:

Tabla 3  
*Nombres de la Planta Toquilla en otros países.*

PAÍS	NOMBRE
Colombia	Lucaica, murrayo, palma iraca.
Guatemala	Palmilla, junco.
Costa Rica	Chidra
Panamá	Guachivan, atadero, bellota, palmita.
Perú	Toquilla, bobonaje.
Brasil	Bombonassa.
Bolivia	Jipi-Japa

Fuente: "Tejiendo la vida... los sombreros de paja toquilla en el Ecuador", 2015.

Esta planta es un tubérculo que debe sembrarse en hileras distanciadas, puesto que la paja toquilla crece formando grupos de individuos de hasta 23 y a

veces 35 plantas por lo que es indispensable que los cultivos se realicen en zonas que no estén cubiertas de ningún tipo de vegetación (Suárez, 2011).

Según Zegarra (2010), también hay que adicionar el conocimiento que se tenía de aquellos lugares productores de paja o materia prima para el sombrero como son Moyobamba y Rioja en el departamento de San Martín que, a partir de allí, serían los centros proveedores de este insumo.

La paja toquilla es muy similar a una palma, pero con un tallo corto, sus hojas se muestran en forma de abanicos que alcanzan los dos y hasta tres metros de largo, y crecen sostenidas por largos tallos de forma cilíndrica. Cantidad que puede variar según la edad de la siembra y de la calidad (Suárez, 2011).

De acuerdo con Suárez (2011) otros usos que se le da a esta planta es la elaboración de escobas, alfombras, carteras. Las hojas de la planta han sido, también, utilizadas para envolver los alimentos y hasta para transportar animales vivos; techar viviendas, y refugios de animales. Pues este es un material bastante resistente que puede durar hasta veinte años.

### **Clasificación de los suelos por AASHTO y SUCS**

De acuerdo con Cruz (2017), durante el transcurso del tiempo se han clasificado los suelos en finos y suelos gruesos, pero se hace necesario clasificarlos de una manera más precisa para que transmitan una mejor descripción de su comportamiento desde el punto de vista de la ingeniería.

Al realizar una clasificación más precisa del suelo y enmarcados en un sistema de referencia conocido y especificado por la técnica, la intercomunicación entre las personas que trabajan en la ingeniería civil se hace más sencillo y se transmite mayor información de una manera rápida.

Un Sistema de Clasificación de los Suelos es una agrupación de éstos con características semejantes. El propósito es estimar las propiedades de un suelo por comparación con otros del mismo tipo, cuyas características se conocen. Son tantas las propiedades y combinaciones en los suelos y múltiples los intereses ingenieriles, que las clasificaciones están orientadas al campo de ingeniería para el cual se desarrollaron (Llique, 2014).

- **Métodos de análisis granulométrico.**

Comprende dos clases de ensayos: El de tamizado para las partículas granulares (gravas, arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos, arcillas), pues no son discriminables por tamizado.

- **El Cribado por mallas**

Se usa para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo, generalmente se llega hasta el tamaño de 0.074 mm. (malla N° 200). Dentro de este método existen dos procedimientos: el tamizado en seco y el tamizado por lavado.

- **Límite líquido**

Se determina cerrando una ranura practicada en una muestra de suelo en un dispositivo llamado copa de Casagrande golpeándola 25 veces mediante una manivela. El contenido de agua que se determina se registra como límite líquido.

- **Límite plástico**

Se determina alternativamente presionando y enrollando una pequeña porción de suelo plástico hasta obtener un diámetro de 3 mm en el cual el

pequeño cilindro se desmorona, y no puede continuar siendo presionado ni enrollado. El contenido de agua que se encuentra se registra como límite plástico.

Según Llique (2014), la identificación de un suelo se realiza en campo mediante observación directa de la textura, color, y mediante manipuleo para determinar la plasticidad. Se realiza mediante ensayos de granulometría y ensayos de límites de Atemberg y con los datos mediante tablas de clasificación se determina la clase de suelo.

Según Cruz (2017), en las clasificaciones basadas en las características granulométricas de los suelos, es costumbre distinguir las distintas fracciones por el nombre de algunos tipos de suelos como son: limo, arcilla, etc. Todo sistema de clasificación basado solamente en la granulometría puede conducir a errores, pues las propiedades físicas de la fracción más fina de los suelos dependen de otros factores ajenos al tamaño de los granos.

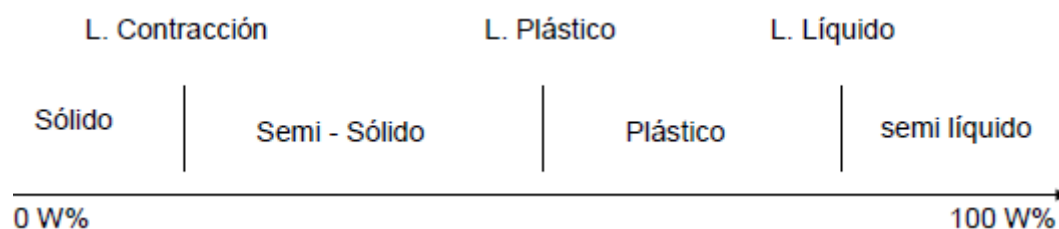


Figura 11. Límites de un suelo. Fuente: Llique, 2014.

Si los términos: limo o arcilla son utilizados para indicar tamaños de partículas, entonces deben ir acompañados de la palabra "tamaño" en expresiones tales como "partículas de tamaño de arcilla".

Salvo pocas excepciones, los suelos naturales consisten en una mezcla de 2 o más fracciones granulométricas, de modo que, en función de su granulometría, un suelo natural puede identificarse con los nombres de sus componentes principales, tales como: "arcilla limosa" o "limo arenoso", o bien

se le puede asignar al mismo un símbolo que lo identifique con una de varias mezclas normales de las distintas fracciones granulométricas. La identificación de un suelo dado, por comparación con mezclas normales; puede efectuarse rápidamente por medio de curvas granulométricas tipo (Llique, 2014).

Los suelos debido a la plasticidad se identifican como suelos no plásticos, de baja plasticidad, de plasticidad intermedia, de alta plasticidad, de plasticidad muy alta, de plasticidad extremadamente alta.

### 1) **Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)**

El Departamento de Caminos Públicos de USA (Bureau of Public Roads) introdujo en 1929 uno de los primeros sistemas de clasificación, para evaluar los suelos sobre los cuales se construían las carreteras. En 1945 fue modificado y a partir de entonces se le conoce como Sistema AASHO y recientemente AASHTO.

Este sistema describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos, basado en granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La evaluación en cada grupo se hace mediante un "índice de grupo", el cual se calcula por la fórmula empírica:

$$IG = 0.2 * a + 0.005 * a * c + 0.01 * b * d$$

Se informa en números enteros y si es negativo se informa igual a 0.  
a: valor correspondiente al porcentaje que pasa el tamiz N° 200 comprendido entre 35 % como mínimo y 75 % como máximo.

$$\frac{0 \quad a \quad 40}{15\% \quad \quad \quad 75\%}$$

b: valor correspondiente al porcentaje que pasa el tamiz N° 200  
comprendido entre 15 % como mínimo y 55 % como máximo.

$$\frac{0 \qquad \qquad b \qquad \qquad 40}{35\% \qquad \qquad \qquad \qquad 55\%}$$

c: valor correspondiente parte al límite líquido comprendido entre el 40 %  
como mínimo y 60 % como máximo

$$\frac{0 \qquad \qquad c \qquad \qquad 20}{40\% \qquad \qquad \qquad \qquad 60\%}$$

d: valor correspondiente al índice plástico comprendido entre el 10 %  
como mínimo y 30 % como máximo.

$$\frac{0 \qquad \qquad d \qquad \qquad 20}{10\% \qquad \qquad \qquad \qquad 30\%}$$

Disponiendo de los resultados de los ensayos requeridos, se procede  
en la tabla de izquierda a derecha y el grupo correcto se encontrará por  
eliminación. Todos los valores límites son enteros, si alguno de los datos  
es decimal, se debe aproximar al entero más cercano.

Este sistema define:

- Grava: material que pasa por 80 mm (3") y es retenido en tamiz de 2mm (N°10).
- Arena gruesa: material comprendido entre 2 mm (N°10) y 0,5 mm (N°40).
- Arena fina: material comprendido entre 0,5 (N°40) y 0,075 mm (N°200).
- Limo arcilla: material que pasa por tamiz 0,075 mm (N°200).

El término material granular se aplica a aquellos con 35% o menos bajo tamiz N°200 (0.075); limoso a los materiales finos que tienen un índice de plasticidad de 10 o menor; y arcilloso se aplica a los materiales finos que tienen índice de plasticidad 11 o mayor. Materiales limo arcilla contienen más del 35% bajo tamiz N°200 (0.075) (Ngowi,1997).

Cuando el suelo es no plástico (NP) o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo se debe considerar (0).

Tabla 4  
*Sistema de clasificación AASHTO.*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO											
Clasific. General	Suelos Granulares ( $\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos Finos ( $>35\%$ Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Sub-Grupo	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**	
2 mm	$\leq 50$										
0,5 mm	$\leq 30$	$\leq 50$	$\geq 51$								
0,08mm	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$			$\geq 36$				
W <sub>L</sub>				$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$
IP	$\leq 6$		NP	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
	**A-7-5 : IP $\leq$ (WL - 30)						** A-7-6 : IP $>$ (WL-30)				

Fuente: Guerrero, 2001.

## 2) Sistema SUCS (Unified Soil Classification System) (Sistema Unificado de clasificación de suelos)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) deriva de un sistema desarrollado por Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares, según Llique (2014), este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, de granos gruesos y de granos finos. Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que N°200 (0.075 mm). Se representan por el símbolo **G** si más

de la mitad, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz N° 4 (4.75 mm), y por el símbolo **S** si más de la mitad pasa por tamiz N° 4 (4.75 mm).

A la **G** o a la **S** se les agrega una segunda letra que describe la gradación: **W**, buena gradación con poco o ningún fino; **P**, gradación pobre, uniforme o discontinua con poco o ningún fino; **M**, que contiene limo o limo y arena; **C**, que contiene arcilla o arena y arcilla. Los suelos finos, con más del 50 % bajo tamiz N°200 (0.075 mm), se dividen en tres grupos, las arcillas (**C**), los limos (**M**) y limos o arcillas orgánicos (**O**).

Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: **L**, si el límite líquido es menor a 50 % y **H**, si es mayor.

Procedimiento de Clasificación de Suelos de granos gruesos (más de 50% retenido en malla N°200 (0.075 mm). Una vez efectuados los ensayos de clasificación, determine la distribución acumulativa de los tamaños de las partículas y clasifique la muestra como grava (**G**), si el 50%, o más de la fracción gruesa (> 0,075 mm) es retenida en tamiz 4.75 mm (N°4), y clasifíquela como arena (**S**), si más del 50% de la fracción gruesa (> 0,075 mm) pasa por tamiz 4.75 mm (N°4) (Amorós, 2011).

Si menos del 5% en peso de la muestra pasa por tamiz 0,075 mm, calcule:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{y} \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Clasificar la muestra como grava bien gradada (**GW**), o arena bien gradada (**SW**), si  $Cu$  es mayor que 4 para las gravas y mayor que 6 para las arenas, y  $Cc$  está comprendido entre 1 y 3. Clasifique la muestra como



grava pobremente gradada (GP), o arena pobremente gradada (SP), si no se satisfacen simultáneamente los criterios de  $C_u$  y  $C_c$  para bien gradada (Llique, 2014).

Según, Cruz (2017) si más que el 12%, en peso, de la muestra de ensayo pasa por 0,075 mm ( $N^{\circ}200$ ), analice los valores del límite líquido (LL) e índice de plasticidad (IP) mediante la línea "A" de la carta de plasticidad). Clasifique la muestra como grava limosa (GM), o arena limosa (SM), si los resultados de los límites de consistencia muestran que los finos son limosos, es decir, si al dibujar LL versus IP, este punto cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4. Clasifique la muestra como grava arcillosa (GC), o arena arcillosa (SC), si los finos son arcillosos, es decir, si al dibujar el LL versus IP, cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7.

Si el punto del límite líquido versus índice de plasticidad cae prácticamente en la línea "A", pero el índice de plasticidad está entre 4 y 7, la clasificación es doble como GM-GC o SM-SC.

Si pasa por tamiz 0,075 mm ( $N^{\circ}200$ ) del 5% al 12% de la muestra, el suelo llevará clasificación doble, basada en los criterios de gradación y límites de consistencia, tales como GW-GC o SP-SM. En casos dudosos, la regla es favorecer a la clasificación de menos plasticidad.

- **Procedimiento de clasificación de suelos de granos finos (50% o más pasa por 0,075 mm)**

Clasifique el suelo como una arcilla inorgánica (C), si al dibujar el punto del límite líquido versus índice de plasticidad, éste cae sobre la línea "A" y el índice de plasticidad es mayor que 7.

Si el límite líquido es menor que 50% y el punto LL versus IP cae sobre la línea "A" y el IP es mayor que 7, se clasifica como arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL), y como arcilla de alta plasticidad (CH) si el Límite Líquido es mayor que 50% y el punto LL versus IP cae sobre la línea A (Carta de plasticidad), lleva doble simbología. En caso que el límite líquido exceda a 100% o el IP exceda a 60%, expanda la carta de plasticidad manteniendo las mismas escalas y pendiente de la línea "A".

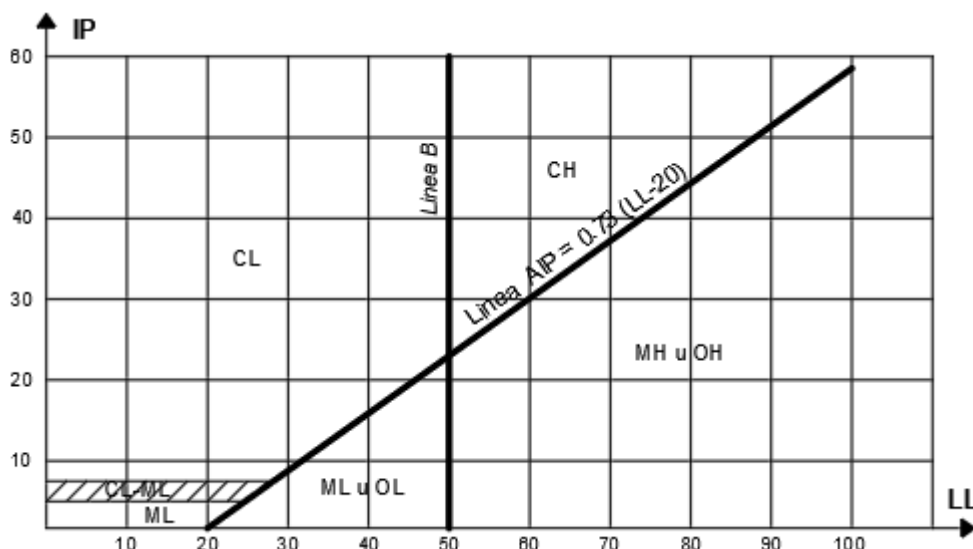


Figura 12. Plasticidad para SUCS. Fuente: Llique, 2014.

Además, Achenza y Fenu (2005), clasificar el suelo como limo inorgánico (M), si al dibujar el punto LL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor que 4%, a menos que se sospeche que hay materia orgánica presente en cantidades suficientes como para influir en las propiedades del suelo (suelo de color oscuro y olor orgánico cuando está húmedo y tibio).

En cuyo caso se debe efectuar un segundo límite líquido con la muestra de ensayo secada al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  durante 24 horas. Se clasifica como limo o arcilla orgánicos (O).

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)**  
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN EN LABORATORIO			
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad es retenido en la malla número 200 (φ)	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4. PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4.	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60}/D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$  NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.		
			GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos			
		GRAVAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GM	Gravas limosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		LIMITES DE ATTEMBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
			GU	Gravas limosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		LIMITES DE ATTEMBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" O I.P. MAYOR QUE 7.	
		ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poco o nada de finos		DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAYA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No.200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5%: GW, GP, SW, SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC. Límite 5% y 12%; Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.	Cu= $D_{60}/D_{10}$ mayor de 6; Cc= $(D_{30})^2/(D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.  No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW.
			SP	Arenas mal graduadas, arena con grava, con poco o nada de finos			
	ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	LIMITES DE ATTEMBERG ABAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.		
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	LIMITES DE ATTEMBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" O I.P. MAYOR QUE 7.			
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad es retenido en la malla número 200 (φ)	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos, ligeramente plásticos.	G-Grava, S-Arena, O-Suelo orgánico, P-Turba, M-Limo C-Arcilla, W- Bien Graduada, P-Mal Graduada, L-Baja Compresibilidad, H-Alta Compresibilidad		
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.			
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
		LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido mayor de 50	MH	Limos orgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.			
CH			Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.				
OH			Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.				
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

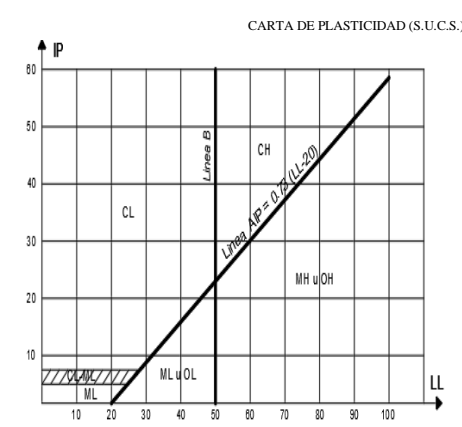


Figura 13. Sistema de clasificación SUCS. Fuente: Lique, 2014.

Clasificar el suelo como limo inorgánico de baja plasticidad (ML), o como arcilla orgánicos de baja plasticidad (OL), el límite líquido es menor que 50% y al dibujar LL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP menor a 4.

Clasificar el suelo como limo inorgánico de media a alta plasticidad (MH), o una arcilla o limo arcilla orgánico de media a alta plasticidad (OH), sí el LL es mayor que 50% y el punto dibujado de LL versus IP cae bajo la línea "A" o el IP es menor a 4%.

Sin embargo, Vargas et al. (1986), con el fin de indicar sus características de borde, algunos suelos de grano fino deben clasificarse mediante simbología doble. Si el punto dibujado del LL versus IP cae prácticamente en la línea "A" o sobre la línea "A" donde el Índice de Plasticidad tiene un rango de 4% a 7%, el suelo debe tener clasificación doble tales como CL-ML o CH-OH. Si el punto dibujado de LL versus IP cae prácticamente en la línea del límite líquido igual a 50%, el suelo deberá tener clasificación doble tales como CL-CH o ML-MH.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el efecto en la compresión axial de adobes con adición de fibras de Paja Toquilla y Paja Ichu?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar el efecto a la compresión de adobes con adición de fibras de Paja Toquilla y Paja Ichu.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Calcular las propiedades físicas del suelo a utilizar.
- Clasificar el tipo de suelo mediante AASHTO y SUCS.
- Realizar la densidad seca y el contenido de humedad óptimo del tipo de suelo.
- Comparar los resultados de resistencia con las fibras de paja.

## **1.4. Hipótesis**

La resistencia a compresión de adobes con adición de fibras de Paja Toquilla y Paja Ichu, se incrementa en 33% y 22% respectivamente.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

#### 2.1.1. Enfoque

Para el estudio el enfoque es cuantitativa. Para esto, el investigador debe llevar un proceso que se inicia con una idea, el planteamiento del problema, revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico, elaborar la hipótesis y la definición de variables, desarrollo del diseño de investigación, definición y selección de la muestra, realizar la recolección de datos, el análisis y la elaboración del reporte final de resultados, con lo cual se podrá evidenciar la coincidencia de la realidad (Hernández, 2010).

#### 2.1.2. Tipo

El tipo de investigación, por su finalidad es aplicada, el problema surge de la práctica y genera resultados que pueden aplicarse (son aplicables y tienen aplicación en el ámbito donde se realizan. Pero sus resultados se consideran de utilidad para aplicaciones prácticas (Jiménez, 1998).

#### 2.1.3. Diseño de investigación

Según su diseño de la investigación es experimental, porque sigue los principios del método científico, los experimentos pueden ser llevados a cabo en el laboratorio. El investigador modifica a voluntad una o algunas variables del fenómeno estudiado; generalmente, modifica las variables consideradas como causa dentro de una relación de causa a efecto. El aspecto fundamental de este tipo de estudio es que se pueden asignar al azar las unidades a las diversas variantes del factor causal (Pavón y Gogeochea, 2010).

Además, por su temporalidad es transversal, porque la investigación es limitada en el tiempo. En el cual se mide una sola vez la o las variables; se miden las características de uno o más grupos de unidades en un momento dado (Pavón y Gogeochea, 2010).

## 2.2. Población y muestra

A pesar que la NORMA E.080 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA (VIVIENDA, 2017), especifica que se deben ensayar 6 cubos de 0.1 m de arista para la resistencia a la compresión; en la presente investigación se optó por usar 56 adobes para el ensayo, debido a que los resultados incrementan su confiabilidad de acuerdo a la cantidad de muestras, y se ensayaron adobes de tamaño regular, de manera que los adobes tuvieran un tamaño similar. La unidad de estudio es el adobe compactado.

### Población.

La población es igual a la muestra ya que es intencionada y a conveniencia el cual se realizaron un total de 56 adobes siguiendo las normas que se describen en la muestra.

### Muestra.

Tabla 5  
*Cantidad de adobes para el ensayo.*

Muestra	Patrón	Paja Toquilla				Paja Ichu	
Porcentaje de paja	0%	2%	4%	6%	4%	8%	12%
Cantidad de adobes	8	8	8	8	8	8	8
Total de adobes					56		

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La muestra es no probabilística de acuerdo a la norma de adobe E-080, el cual indica un mínimo de 6 adobes para ensayo a compresión. En total se realizaron 56 unidades de adobe compactado con paja toquilla, paja ichu y adobes patrón.

### 2.3. Materiales, instrumentos y métodos

Para realizar el desarrollo de la investigación se emplearon materiales que extraen de la cantera y del campo; los instrumentos que se necesitan son los que se encuentran en el laboratorio de la universidad; y se usaron normas para seguir los pasos para cada ensayo.

Para el estudio se utilizaron los siguientes materiales:

- 400 kg (aprox.) de Suelo de la cantera Cruz Blanca.
- Agua, cantidad suficiente.
- 1 saco de paja toquilla y 2 sacos de paja ichu.

Asimismo, se emplearon los siguientes instrumentos:

- Herramientas manuales.
- Máquina CINVA RAM.
- Instrumentos de laboratorio necesarios para las pruebas.

Además, se necesitaron las siguientes normas:

- Norma E-080.
- ASTM D2216 Contenido de humedad ( $\omega\%$ ).
- ASTM D4318 Límite líquido (LL) y Límite Plástico (LP).
- ASTM D421 Análisis Granulométrico mediante lavado.
- ASTM D1557 Compactación Proctor Modificado.
- ASTM D2487 Clasificación del suelo.

Se extrajo una muestra de la cantera, la cual fue analizada en sus cualidades granulométricas, para así obtener el contenido de humedad óptimo, valor que fue utilizado al momento de elaborar las muestras de adobe compactado. Todas las muestras se pusieron a secar bajo sombra por espacio de 28 días, luego de lo cual se realizaron las pruebas de medición de dimensiones y resistencia a compresión.

Para la fabricación de las muestras de adobe compactado se realizó una mezcla con el contenido de humedad óptimo, la misma que fue sometida a compresión mediante la máquina CINVA RAM, obteniendo así estas muestras.

La variable por estudiar fue la resistencia a compresión, motivo por el cual se utilizó el mismo suelo para los diferentes porcentajes de paja toquilla y paja ichu, siendo la única variable independiente el porcentaje y el tipo de paja para la elaboración de la unidad de albañilería.

#### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Se recurrió únicamente a fuentes primarias, utilizando la técnica de observación directa mediante ensayos de laboratorio de las unidades de albañilería, utilizando como instrumentos fichas de recolección de datos de laboratorio estándar de la Universidad, cámara fotográfica, instrumentos de laboratorio y CINVA RAM.

Tabla 6  
*Recolección de datos.*

Variable	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumento
<b>Resistencia a compresión</b>	Experimento: cada ensayo.	Observación directa.	Máquina a compresión y formatos para recolección de datos.

Fuente: Elaboración propia, 2019.



**a) Técnica e instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección de datos, consistió en la realización de ensayos de suelo en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte Cajamarca, para la obtención de las propiedades físicas del material extraído, para ello se utilizó los protocolos de guía y formatos para la toma de datos que cumplan con las respectivas normas para los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de Atterberg y Proctor Modificado. Dichos formatos están conformados por una primera parte en el cual se indica el nombre del ensayo y la norma usada para su realización y luego una segunda parte constituido por tablas para el ingreso de datos de laboratorio. Posteriormente se elaboraron hojas de cálculo para el procesamiento y obtención de resultados en gabinete.

**b) Técnica e instrumentos de análisis de datos**

Para el análisis, se contó con un formato de resultados, el cual indicó la cantidad de agua y fibra que debía incorporarse al material arcilloso. Con ello se procedió a la elaboración de los bloques de adobe compactado, los cuales fueron cuidadosamente ubicados para su secado, protegiéndolos de agentes externos que perjudiquen la obtención de resultados.

Luego, se determinó la resistencia a la compresión de los adobes mediante el uso de una máquina de pruebas a compresión axial, para lo cual se contó también con protocolos de guía y formatos de recolección de datos de laboratorio. Con ello se elaboraron hojas de cálculo, para el procesamiento y obtención de resultados, los cuales fueron analizados y comparados entre sí para la definición de resistencia máxima para la adición de paja toquilla y paja ichu con diferentes porcentajes.

## **2.5.Procedimiento**

### **2.5.1. Selección de los materiales**

La tierra no es un material de construcción estandarizado, sus propiedades varían dependiendo del lugar seleccionado, por lo que la composición del suelo natural puede estar constituida de porcentajes diferentes de arcilla, limo y arena. Por lo tanto, es necesario realizar los ensayos en laboratorio.

La tierra y la paja ichu se obtuvo de la cantera “El Tambo” – Cruz Blanca; pero, la paja toquilla se obtuvo de locales donde se comercia este producto y enfrenan sombreros, en la provincia de Celendín, este es un material que en algunos casos después del acabado del sombrero se desechan segmentos restantes de la paja toquilla.

### **2.5.2. Ensayos que se realizarán en laboratorio**

El material de los bloques de adobe se utilizará los siguientes procesos:

#### **2.5.2.1. Contenido de humedad**

Este ensayo se realizó con la norma MTC E 108, 2000; primeramente, se tomaron tres muestras de suelo húmedo, se las peso en sus respectivas taras (siendo estas pesadas previamente) antes de ser colocadas al horno. Finalmente, pasadas 24 horas se pesó nuevamente cada muestra seca y se realizó el procesamiento de datos en gabinete.

#### **2.5.2.2. Límites de Atterberg**

Este ensayo se realizó con la norma ASTM D 4318, 2008; primero se colocó la cantidad de 500 gr aproximadamente en un recipiente de porcelana, y se fue agregando una ligera cantidad de agua otorgándole consistencia a la mezcla de manera que no se encuentre ni muy seca, ni muy húmeda. Luego la

mezcla fue colocada en la copa de Casagrande y se realizó una pequeña abertura al centro de la proporción de material colocado, para proceder a dar ligeros golpes mediante la manija y así obtener el número de golpes con el cual dicha abertura cierre por completo. Finalmente se tomó una muestra para ser colocada al horno. Dicho ensayo fue realizado tres veces con la finalidad de obtener una línea promedio que determine el límite líquido a los veinticinco golpes.

### 2.5.2.3. Granulometría

El ensayo de granulometría consiste en hacer pasar una muestra de suelo de masa conocida a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

Tabla 7  
*Juego de tamices.*

Tamiz	3"	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	N°4	N°8
Abertura(mm)	75.00	62.50	50.00	37.50	25.00	19.00	12.50	9.50	4.75	2.36

Tamiz	N°10	N°16	N°20	N°30	N°40	N°50	N°80	N°100	N°200
Abertura(mm)	2.00	1.18	0.85	0.60	0.43	0.30	0.18	0.15	0.08

Fuente: Norma Técnica Peruana 339. 128.

### 2.5.3. Tipo de suelo

Este ensayo se realizó con la norma ASTM D 2487, 2003 teniendo en cuenta el sistema de clasificación AASHTO y SUCS. Se clasifica el tipo de suelo para usarlo en el adobe y conocer que el componente que más presenta es la arcilla.

### 2.5.4. Proctor modificado

Este ensayo se realizó haciendo uso de la norma MTC E 115, 2000, para la cual se pesó previamente 3.00 kg de material para cada ensayo, en nuestro

caso por el tipo de suelo utilizado, se requirió del método A, realizando por tal motivo 25 golpes por cada capa. Dicho ensayo se repitió 4 veces para la obtención de la curva de compactación del material.

Al hacer uso de paja toquilla y de paja ichu para la investigación en porcentajes, se realizó dicho ensayo para cada caso y así determinar la cantidad óptima de agua para la obtención de adobes compactados.

#### **2.5.5. Elaboración de adobes**

La fabricación de adobes se realizó según el porcentaje de fibra y contenido de humedad óptimo obtenido de los ensayos de laboratorio. Para los adobes compactados con y sin fibra se realizaron 8 unidades para cada caso.

Primero son mezclados de forma manual, la tierra con la paja dependiendo del porcentaje. Se agrega el agua con ayuda de Proctor modificado para obtener el contenido de humedad óptimo.

#### **2.5.6. Secado de adobes**

El tiempo de secado de los adobes depende del tiempo que va cambiando durante los días posteriores de la elaboración. Después de 8 o 10 días de fabricados se coloca los adobes de costado para que sequen mejor. Se dejaron 28 días para el secado de los adobes.

#### **2.5.7. Resistencia a la compresión**

Esta prueba muestra la capacidad de los adobes cuando se somete a una carga axial. El ensayo se realizó en el laboratorio de la universidad, utilizando la máquina de resistencia a la compresión. El valor del esfuerzo resistente en compresión se obtuvo en base al área de la sección transversal.

## 2.6. Aspectos éticos

En la presente investigación los aspectos éticos que se han considerado, es la confiabilidad de los resultados obtenidos a través de los ensayos realizados en laboratorio, siguiendo los procedimientos establecidos en las normas.

Otro aspecto ético a considerar es que el uso de paja toquilla y paja ichu para adicionar al adobe compactado, no es perjudicial para el medio ambiente y no daña a las personas que puedan utilizar en la investigación.

Los materiales utilizados son de bajo costo, por lo que ayudará a realizar otras investigaciones en dicho campo y seguir mejorando el adobe con materiales de fácil acceso.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Clasificación del suelo

#### 3.1.1. Contenido de humedad

Tabla 8  
*Contenido de humedad.*

Descripción	Und	1	2	3
Porcentaje de humedad.	%	4.49	4.43	4.27
Promedio	%		4.39	

Ecuación 1: Contenido de humedad.

$$W(\%) = \frac{W_{mh} - W_s}{W_s} * 100$$

Donde:

$W_{mh}$  = Peso de agua presente en la masa de suelos.

$W_s$  = Peso de la muestra seca.

El resultado obtenido del contenido de humedad es 4.39%.

#### 3.1.2. Límites de Atterberg.

##### 2.1.2.1. Límite líquido.

Tabla 9  
*Límite Líquido.*

Descripción	Und	1	2	3
Número de golpes.	%	28	23	12
Contenido de humedad.	%	27.75	29.02	30.74

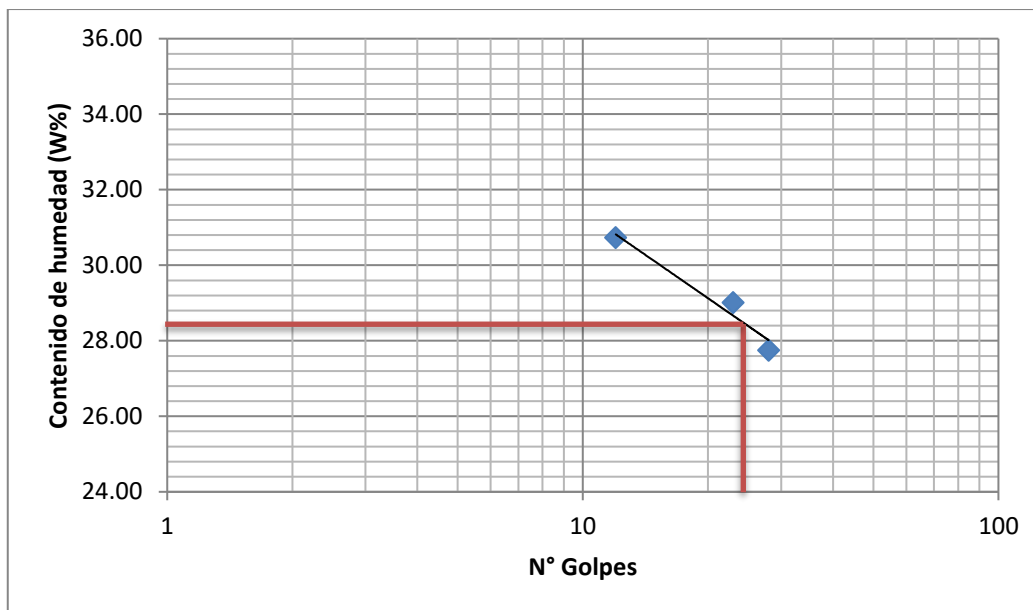


Figura 14. Determinación límite líquido.

Del ensayo de límite líquido se obtuvo: LL = 28.04%.

### 2.1.2.2.Límite plástico.

Tabla 10

*Límite Plástico.*

Descripción	Und	1	2
Contenido de humedad.	%	17.74	18.14
Promedio.		17.94	

El límite plástico dio un resultado de 17.94%.

### 2.1.2.3.Índice de plasticidad.

Tabla 11

*Índice de plasticidad.*

Índice de plasticidad.	IP	10.10
------------------------	----	-------

Ecuación 2: Índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

LL = Límite Líquido.

LP = Límite Plástico.

### 3.1.3. Análisis granulométrico por lavado.

Tabla 12

*Granulometría por lavado.*

Tamiz	Abertura	P. Retenido	% PR	%RA	% que pasa
N°4	4.760	14.40	2.88	2.88	97.12
N°10	2.000	36.60	7.26	10.14	89.86
N°20	0.840	18.00	3.60	13.74	86.26
N°30	0.590	7.60	1.52	15.26	84.74
N°40	0.420	10.20	2.04	17.30	82.70
N°60	0.250	26.50	5.30	22.60	77.40
N°100	0.150	40.80	8.16	30.76	69.24
N°200	0.074	43.20	8.64	39.40	60.60
<b>Pérdida</b>	Lavado	303.00	60.60	100.00	0.00
<b>Total</b>		500.00	100.00		

Ecuación 3: Porcentaje de pesos retenidos.

$$\%RP = \frac{PRP}{Wms} * 100$$

Donde:

%RP = Porcentaje de peso retenido.

Wms = Peso de muestra seca.



Ecuación 4: Porcentaje retenido acumulado.

$$\%RA_n = RP1 + RP2 + RP3 + \dots + RP_n$$

Donde:

$$\%RA1 = RP1$$

$$\%RA2 = RP1 + RP2$$

$$\%RA3 = RP1 + RP2 + RP3, \text{ etc.}$$

Ecuación 5: Porcentaje que pasa.

$$\% \text{ que pasa} = 100\% - \%RA$$

Donde:

$\%RA$  = Porcentaje retenido acumulado.

### 3.2. Ensayo Proctor modificado (Método A).

Ecuación 6: Densidad Seca.

$$D_s = \frac{D_h}{(1 + W\%)}$$

Donde:

$D_s$  = Densidad seca.

$D_h$  = Densidad húmeda.

$W\%$  = Contenido de humedad.

#### 3.2.1. Proctor modificado para la muestra patrón.

Tabla 13

*Proctor modificado de la muestra patrón.*

Descripción	Und	1	2	3	4
Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.14	2.18	2.20	2.22
W% prom.	%	9.46	10.26	11.50	12.59
Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.955	1.973	1.974	1.970
Contenido de humedad óptima				10.90%	

### 3.2.2. Proctor modificado para la muestra con 2% de Paja Toquilla.

Tabla 14

*Proctor modificado de la muestra con 2% de Paja Toquilla.*

Descripción	Und	1	2	3	4
Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.10	2.13	2.17	2.18
W% prom.	%	9.42	10.36	12.16	13.24
Ds	g/cm	1.932	1.931	1.933	1.925
Contenido de humedad óptima				11.60%	

### 3.2.3. Proctor modificado para la muestra con 4% de Paja Toquilla.

Tabla 15

*Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Toquilla.*

Descripción	Und	1	2	3	4
Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.10	2.13	2.17	2.18
W% prom.	%	9.28	10.31	11.87	12.82
Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.920	1.935	1.937	1.929
Contenido de humedad óptima				11.40%	

### 3.2.4. Proctor modificado para la muestra con 6% de Paja Toquilla.

Tabla 16

*Proctor modificado de la muestra con 6% de Paja Toquilla.*

Descripción	Und	1	2	3	4
Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.13	2.16	2.17	2.18
W% prom.	%	10.39	11.49	12.01	12.88
Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.928	1.934	1.934	1.930
Contenido de humedad óptima				11.70%	

### 3.2.5. Proctor modificado para la muestra con 4% de Paja Ichu.

Tabla 17

*Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Ichu.*

Descripción	Und	1	2	3	4
Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.08	2.09	2.13	2.14
W% prom.	%	11.59	12.25	13.45	14.56
Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.862	1.866	1.876	1.872
Contenido de humedad óptima				13.65%	

### 3.2.6. Proctor modificado para la muestra con 8% de Paja Ichu.

Tabla 18

*Proctor modificado de la muestra con 8% de Paja Ichu.*

Descripción	Und	1	2	3	4
Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.06	2.09	2.11	2.13
W% prom.	%	10.31	11.54	13.05	14.38
Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.864	1.874	1.868	1.860
Contenido de humedad óptima				11.70%	

### 3.2.7. Proctor modificado para la muestra con 12% de Paja Ichu.

Tabla 19

*Proctor modificado de la muestra con 12% de Paja Ichu.*

Descripción	Und	1	2	3	4
Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.08	2.11	2.14	2.15
W% prom.	%	12.15	13.33	14.66	15.75
Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.858	1.865	1.865	1.856
Contenido de humedad óptima				14.15%	

## 3.3. Ensayo de resistencia a compresión axial.

### 3.3.1. Resistencia a compresión axial del adobe patrón.

Tabla 20

*Resistencia a compresión axial del adobe patrón.*

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (mm)
A-1	4419	20.36	7.91
A-2	4645	20.39	5.80
A-3	4389	19.92	7.97
A-4	3877	19.26	6.65
A-5	4070	18.97	5.78
A-6	4819	22.32	7.19
A-7	4263	19.60	9.13
A-8	4685	20.69	9.87
<b>Promedio</b>	4395	20.18	7.53

### 3.3.2. Resistencia a compresión axial con adición de 2% paja toquilla.

Tabla 21

*Resistencia a compresión axial con adición de 2% paja toquilla.*

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (mm)
B-1	6968	32.25	8.25
B-2	4106	19.95	5.30
B-3	5631	25.88	5.83
B-4	5231	24.41	7.72
B-5	5811	27.28	7.35
B-6	6515	29.55	6.52
B-7	5662	26.21	10.42
B-8	5734	26.01	10.61
<b>Promedio</b>	5707	26.44	7.75

### 3.3.3. Resistencia a compresión axial con adición de 4% paja toquilla.

Tabla 22

*Resistencia a compresión axial con adición de 4% paja toquilla.*

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (mm)
C-1	5913	27.37	9.17
C-2	5461	25.35	9.24
C-3	4970	24.54	7.43
C-4	6262	29.18	9.38
C-5	5227	26.70	8.01
C-6	4267	21.04	6.50
C-7	5028	22.66	11.32
C-8	5462	24.94	6.81
<b>Promedio</b>	5323	25.22	8.48

### 3.3.4. Resistencia a compresión axial con adición de 6% paja toquilla.

Tabla 23

*Resistencia a compresión axial con adición de 6% paja toquilla.*

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (mm)
D-1	7187	33.04	8.23
D-2	5992	28.32	7.05
D-3	6393	30.23	9.42
D-4	4661	21.14	8.50
D-5	5758	27.65	3.63
D-6	6518	29.57	8.09
D-7	6945	33.53	11.23
D-8	6273	29.65	8.24
<b>Promedio</b>	6215	29.14	8.04

### 3.3.5. Resistencia a compresión axial con adición de 4% paja ichu.

Tabla 24

*Resistencia a compresión axial con adición de 4% paja ichu.*

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (mm)
E-1	6912	32.00	8.58
E-2	6220	29.44	9.05
E-3	5921	27.81	9.63
E-4	6124	29.20	5.06
E-5	5402	26.48	7.16
E-6	5726	26.69	6.63
E-7	5717	26.11	7.41
E-8	5751	27.19	9.18
<b>Promedio</b>	5971	28.11	7.71

### 3.3.6. Resistencia a compresión axial con adición de 8% paja ichu.

Tabla 25

*Resistencia a compresión axial con adición de 8% paja ichu.*

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (mm)
F-1	4927	23.77	9.81
F-2	5330	26.43	8.63
F-3	5030	23.28	7.52
F-4	4432	20.26	8.35
F-5	5148	23.05	9.24
F-6	5728	25.81	7.96
F-7	5362	24.33	10.52
F-8	5314	24.94	7.35
<b>Promedio</b>	5158	23.98	8.67

### 3.3.7. Resistencia a compresión axial con adición de 12% paja ichu.

Tabla 26

*Resistencia a compresión axial con adición de 12% paja ichu.*

Muestra	Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (mm)
G-1	3660	17.31	9.28
G-2	4161	19.66	7.52
G-3	5207	23.63	6.26
G-4	5385	24.60	7.28
G-5	4673	21.19	8.15
G-6	4868	22.38	10.89
G-7	4612	21.07	8.18
G-8	4838	22.10	6.56
<b>Promedio</b>	4675	21.49	8.01

Ecuación 7: Esfuerzo axial simple.

$$Fb = \frac{Pm}{Ab}$$

Donde:

Fb= Resistencia a la compresión axial de la unidad.

Pm= Carga máxima de rotura.

Todas las unidades de tierra probadas lograron una resistencia mayor al esfuerzo de compresión mínimo, según la Norma E.080 2017, la cual especifica un esfuerzo a compresión mínimo de 10.2 Kg/cm<sup>2</sup>, de manera que todos los adobes elaborados cumplen con las especificaciones presentadas por la norma de bloques de tierra reforzados.

La referencia de resistencia fue la obtenida por el adobe patrón, la cual es mucho mayor a lo requerido por norma. Las unidades de adobe con paja toquilla y paja ichu lograron una resistencia superior a la muestra patrón, lo cual representa una mejora en resistencia considerable (Figura 15).

Efecto en la compresión axial de adobes con adición de fibras de Paja Toquilla y Paja Ichu

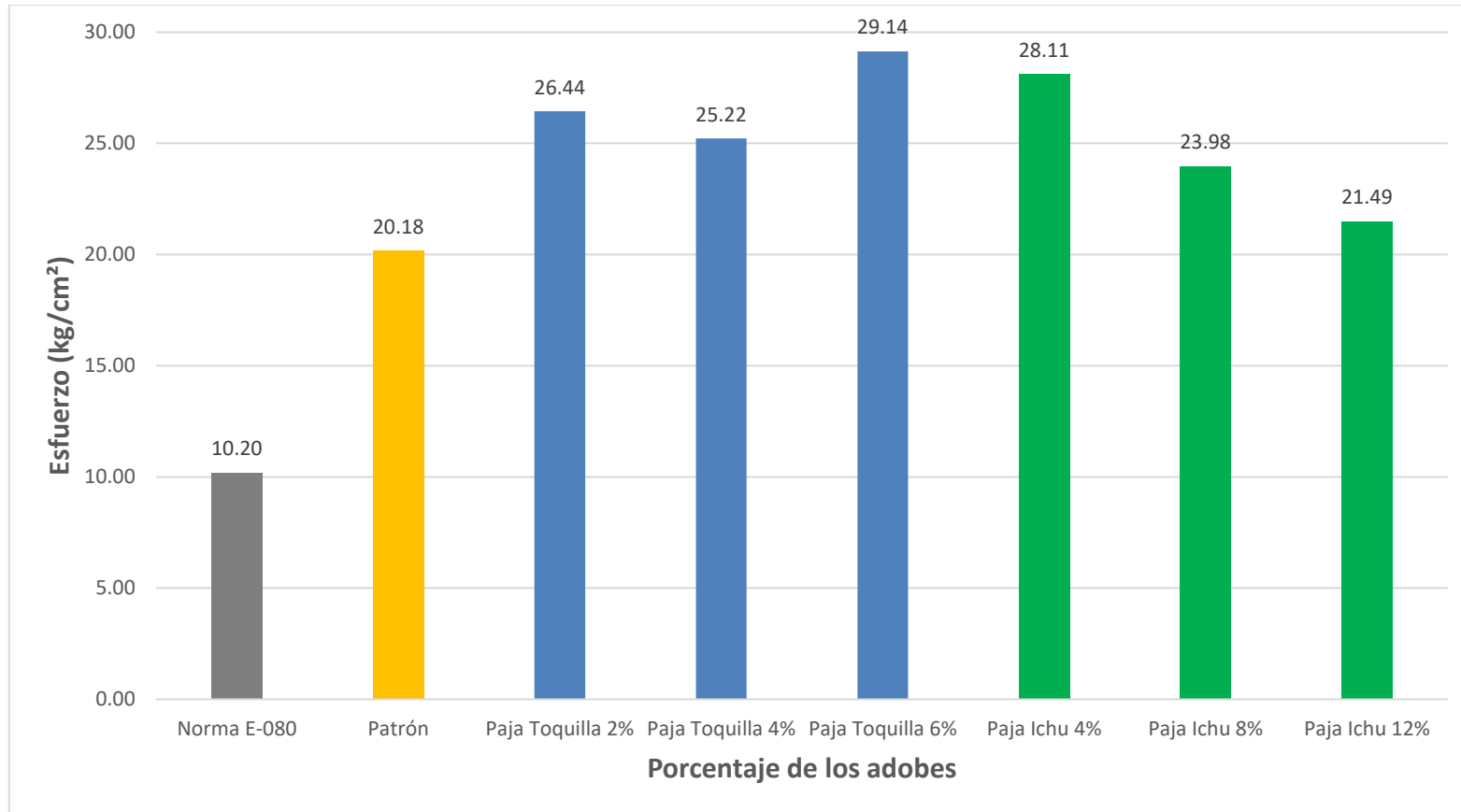


Figura 15. Resumen general de resistencia a la compresión axial. Fuente: Elaboración propia, 2019.



## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Limitaciones e implicancias

- **Limitaciones**

Para realizar las unidades para el ensayo de resistencia a compresión fue el espacio y la cantidad para elaborar los adobes comprimidos, por lo que se necesita espacio y para realizarlo en diferentes días.

Los adobes se elaboraron por grupos, teniendo las mismas cantidades de paja, tendrán resultados variables dentro del mismo grupo.

- **Implicancias**

El desarrollo de los ensayos se realizó de manera experimental; entonces, la resistencia a compresión axial variará, dependiendo de factores como: composición del material, forma de elaborar el adobe, el clima, dimensiones del adobe.

La investigación se basará en la ciudad de Cajamarca, por lo tanto, todos los datos, costos, materiales y demás serán basados de esta ciudad.

### 4.2. Discusión

Con los datos obtenidos, la resistencia a compresión de la muestra patrón, la cual asciende a 20.18 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 15), la cual es mayor a lo requerido por norma E-080. Las unidades de adobe compactado con paja toquilla al 2%, 4% y 8%; lograron una resistencia promedio de 26.44 kg/cm<sup>2</sup>, 25.22 kg/cm<sup>2</sup>, 29.14 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 23), lo cual representa una mejora en resistencia considerable, lo cual justifica la diferencia en tiempo y esfuerzo de manufactura de éstos. Además, los adobes con paja ichu 4%, 8% y 12%; lograron una resistencia promedio de 28.11 kg/cm<sup>2</sup>, 23.98 kg/cm<sup>2</sup>, 21.49 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 15), lo cual representa un incremento en

la resistencia sustancial, lo cual, tomando en cuenta la facilidad de manufactura y emplazamiento, justifica su utilización.

Al comparar los valores de resistencia, los adobes realizados por Montés aumentan en un 24.12%, mientras que los adobes compactados con adición de paja toquilla al 6% aumentan en 44.40% (Tabla 23) y los adobes con paja ichu al 4% aumentan en 29.39% (Tabla 24).

El promedio de los bloques con paja toquilla al 6% de 29.14 kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 23), superan la resistencia a la compresión realizada por Soberón de adobes con cascarilla de arroz de 1.31 MPa a 2.37 MPa (13.35 a 24.17 kg/cm<sup>2</sup>). Los bloques de adobes con adición de paja toquilla al 6% (Tabla 23) tienen una resistencia de 29.14 kg/cm<sup>2</sup>, la cual logra superar en más de dos veces el valor que especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E-080, 2017 que especifica que la resistencia mínima a compresión axial es de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>.

Si comparamos los adobes con adición de paja toquilla al 6% (Tabla 23) que aumentó en 44.40% con respecto a la muestra patrón, con los de Roux y Olivares que utilizando una prensa hidráulica con adición de fibras de coco aumentaron en 272.7%.

#### 4.3. Conclusiones

- Con los resultados obtenidos de la resistencia a compresión del adobe patrón es 21.03 kg/cm<sup>2</sup> superó al valor mínimo que exige la norma E.080 de 10.2 kg/cm<sup>2</sup>, los bloques con adición de paja toquilla en porcentajes del 2%, 4% y 6% superan su resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón en un 31.02%, 24.97% y 44.40%. De laboratorio también se demostró que tomando como base la muestra patrón de 21.03 kg/cm<sup>2</sup>, los bloques de adobe elaborados con adición de paja ichu

en porcentajes del 4%, 8% y 12% superan su resistencia a la compresión con respecto a la muestra patrón en un 39.29%, 18.83% y 6.49%, respectivamente. El aumento de la resistencia a compresión se da; porque, las fibras mejoran el adobe, pero las fibras de paja toquilla fue mejor que de la paja ichu. De acuerdo con la Figura 15 los mejores resultados son los adobes con paja toquilla al 6% y de paja ichu al 4%, son los porcentajes más favorables para elaborar las unidades.

- Los resultados de las propiedades de los suelos provenientes de la cantera El Tambo, de acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte, en las propiedades físicas se obtiene que el contenido de humedad es 4.39% (Tabla 27), el límite líquido es 28.04% (Figura 14), límite plástico es 17.94%, dando un Índice de plasticidad de 10.10% (Tabla 11), análisis granulométrico mediante tamizado por lavado presenta 60.60% (Tabla 30) pasa por la malla N° 200.
- Para clasificar el suelo, que se ha elaborado los adobes, utilizamos los datos de límite líquido es 28.04% (Figura 14) y índice de plasticidad es 10.10% (Tabla 11). Según el sistema de clasificación de suelos de American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) el suelo empleado para la elaboración de adobes es A-6(5), es un suelo arcilloso (Tabla 4); además, el sistema de clasificación de los suelos unificado “SUCS” es CL, suelo de arcillas inorgánicas (Figura 12).
- Para Compactación Proctor Modificado de la muestra patrón presenta una densidad seca máxima de  $1.975 \text{ g/cm}^3$  y el contenido de humedad óptimo de 10.90%, las muestras con adición de paja toquilla en porcentajes del 2%, 4% y 6% presento una densidad seca máxima de  $1.936 \text{ g/cm}^3$ ,  $1.938 \text{ g/cm}^3$  y  $1.935 \text{ g/cm}^3$ , y el contenido

de humedad óptimo 11.45%, 11.40% y 11.70% respectivamente, las muestra con adición de paja ichu en porcentajes del 4%, 8% y 12% presento una densidad seca máxima de  $1.877 \text{ g/cm}^3$ ,  $1.874 \text{ g/cm}^3$  y  $1.866 \text{ g/cm}^3$ , y el contenido de humedad óptimo 13.65%, 11.70% y 14.15% respectivamente.

- Al comparar los resultados de los ensayos de laboratorio podemos ordenar de los mejores resultados a las menores resistencias a compresión: las muestras con mayor resistencia fueron los adobes con adición de paja toquilla al 6% con una resistencia promedio de  $29.14 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla 23); luego, los adobes con paja ichu al 4% con una resistencia promedio de  $28.11 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla 24); después, los adobes con paja toquilla al 2% con una resistencia promedio de  $26.44 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla 21); además, los de paja toquilla al 4% con una resistencia promedio de  $25.22 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla 22); pero, los de paja ichu al 8% tienen una resistencia de  $23.98 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla 25); también, los de paja ichu al 12% con una resistencia de  $21.49 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla 26) y finalmente la muestra patrón tuvo una de  $20.18 \text{ kg/cm}^2$  (Tabla 20).

## REFERENCIAS

Achenza M. y Fenu, L. (2005). *On Earth Stabilization with Natural Polymers for Earth Masonry Construction*. Materials and Structures, 21, 21-27.

Benites, V. (2017). *Adobe estabilizado con extracto de cabuya (furcraea andina)*. Universidad de Piura. Perú.

Blondet, J. M.; Vargas, J.; Tarque, S. N. (2015). *Refuerzo sísmico de mallas de sogas sintéticas para construcciones de adobe*. Cuenca, Ecuador.

Blondet, J. M.; Villa, G. A. F.; Brzev, S. (2003). *Earthquake -resistant construction of adobe buildings: a tutorial*. Oakland. California. EEUU.

Briones, T. J., Estrada, W. (2018). *Compresión axial del adobe compactado con fibras de Paja Ichu, Paja de Arroz y Paja de Trigo*. (Tesis de Titulación). UPN. Cajamarca. Perú.

Bolaños, J. (2016). *Resistencia a compresión, flexión y Absorción del adobe compactado con Adición de goma de tuna*. (Tesis de Titulación). UPN. Cajamarca. Perú.

Cárdenas L. (2008). *Análisis de vulnerabilidad estructural del Hotel Comercio*. Perú.

Carrillo J., Alcocer S. y Aperador W. (2012). *Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo*. Ingeniería Investigación y Tecnología, 14 (2), p.286-287.

Carrillo J., Alcocer S. y Gonzales G. (2012). *Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero*. Ingeniería Investigación y Tecnología, 14 (3), p.436-437.

Cotrina A.; Limay W.; López D. (2014). *Comparación de la resistencia a la compresión de unidades de adobe sin paja con unidades de adobe con paja en Cruz Blanca – Cajamarca*. Universidad Privada del Norte.

Cruz, L. G. (2017). *Mecánica de Suelos I*. Universidad del Cauca. Colombia.

De La Peña, D. (1997). *Adobe, características y sus principales usos en la construcción*. (Tesis de Titulación). Instituto Tecnológico de la Construcción, México.

Delgado, E. F. (2006). *Comportamiento Sísmico de un Módulo de Adobe de Dos Pisos con Refuerzo Horizontal y Confinamientos de Concreto Armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Gonzales, M., y Prado, F. (2012). *Incidencia de la adición de fibras poliméricas para morteros sobre la resistencia a flexión y compresión de estucos de barro*. En *Revista de la Construcción*, p. 14.

Gonzales, M. (2014). *Construcciones de adobe*. [en línea] Recuperado el 8 de mayo del 2016. De [http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28\\_07-20-31110986.pdf](http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-28_07-20-31110986.pdf)

Guerrero L. (2001). *Deterioro del patrimonio edificado en adobe*. Universidad Autónoma Metropolitana. *Revista Diseño y Sociedad*, Vol. 13, 4-11. Xochimilco, México D.F.

INEI. (2014). *Informe de Resultados del Censo de Vivienda y Construcción - Material de sus Paredes*. Lima: Inei.

Llique, R. H. (2014). *Mecánica de suelos*. Universidad Privada del Norte. Cajamarca.

Lobato, N. M. (2018). *Resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado con adición de Paja Toquilla – Cajamarca 2017*. (Tesis de Titulación). UPN. Cajamarca. Perú.

Mejía, I. (2014). *Adobe estabilizado y compactado en Cajamarca- 2014*. Cajamarca.

Mondragón, K. (2013). *Fibras Sintéticas y Especiales*. [en línea] Recuperado el 25 de abril del 2016. De <http://fibrologia.blogspot.pe/2013/04/fibras-sinteticas.html>

Montes, J. L. (2009). *Estudio del efecto de la fibra de bagazo de agave angustifolia haw en la resistencia a flexión y compresión del adobe compactado*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México.

Ngowi A. (1997). *Improving the traditional earth construction: a case study of Botswana*. *Construction and Building Material*, 11(1), 1–7.

Norma Técnica De Edificación E.080. (2006). *Adobe*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Pérez P. L. (2011). *Materiales ecológicos para la construcción de viviendas*. Veracruz.

Ramírez M. (2011). *Deterioro y estabilización del adobe*. Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México.

Ríos, E. Y. (2010). *Efecto de la adición de látex natural y jabón en la resistencia mecánica y absorción del adobe compactado*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México.

Quispe, J. & Rondón, S. (2012). *Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. Aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos*. (Tesis de título profesional). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Simbaña, A. (2008). *Fibras naturales. Alternativa para el desarrollo nacional*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Soberón, A. (2014). *Adobe estabilizado con resinas vinil acrílicas y fibras sintéticas, para mejorar su resistencia a la compresión, flexión y absorción*. (Tesis de Maestría). Instituto Tecnológico de Oaxaca, México.

Soto, E. E. (2016). *Resistencia a compresión y flexión del adobe compactado con incorporación de bentonita sódica, utilizando suelos de diferentes canteras, cajamarca 2016*. (Tesis de Titulación). UPN. Cajamarca. Perú.

Suárez, B. (2011). *La producción y comercialización de los sombreros de paja toquilla de Jipijapa. Visión de dos tiempos: pasado (siglo XIX) y presente (2011)*. (Tesis de Titulación). Universidad de Guayaquil, Ecuador.

Regalado, L. (2010). *Las hebras que tejieron nuestra historia*. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Quito.

Vargas, J., Heredia E. y Bariola J. (1986). *Preservación de las construcciones de adobe en áreas lluviosas*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

Vargas, L. (2016). *Determinación de propiedades mecánicas de la mampostería de adobe, ladrillo y piedra en edificaciones históricas peruanas*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Zegarra, T. (2010). *Laboriosidad y pobreza*. [En línea]. Recuperado el 25 de marzo de 2019. De <https://sucremus.blogspot.com/2010/10/escenario-tejedoras-de-sombreros.html>

Zelaya, V. (2007). *Estudio sobre Diseño Sísmico en Construcciones de Adobe y su Incidencia en la Reducción de Desastres*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.



## ANEXOS

### ANEXO N°1: Panel Fotográfico.



Figura 16. Lugar que se extrajo el material para la elaboración de adobes.



Figura 17. Recolección de datos en Laboratorio UPN.



Figura 18. Peso de material en los ensayos.



Figura 19. Taras para los ensayos de contenido de humedad.



*Figura 20.* Pesando los materiales para el ensayo de Proctor modificado.



*Figura 21.* Mezcla para el ensayo de límite líquido.



Figura 22. Tamices para el ensayo de granulometría.



Figura 23. Seleccionar la cantidad de material.

Efecto en la compresión axial de adobes con adición de fibras de Paja Toquilla y Paja Ichu

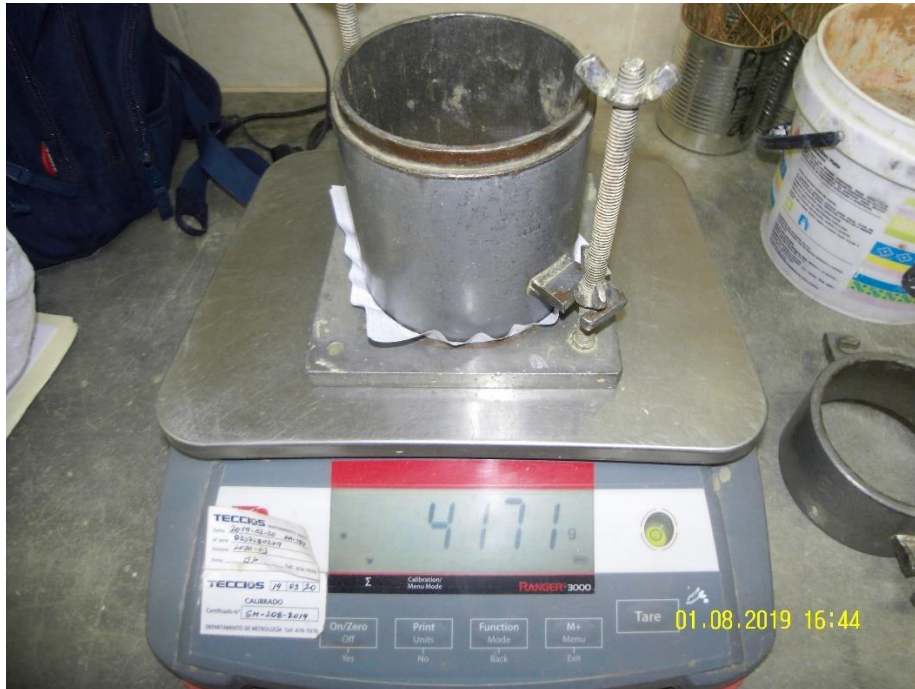


Figura 24. Molde para realizar el Proctor modificado.



Figura 25. Seleccionando el material para el ensayo de Proctor modificado.



*Figura 26.* Usando el martillo para el compactado para el Proctor modificado.



*Figura 27.* Ensayo de Proctor modificado con material con paja.



Figura 28. Compactando el material con el martillo en el proctor modificado.

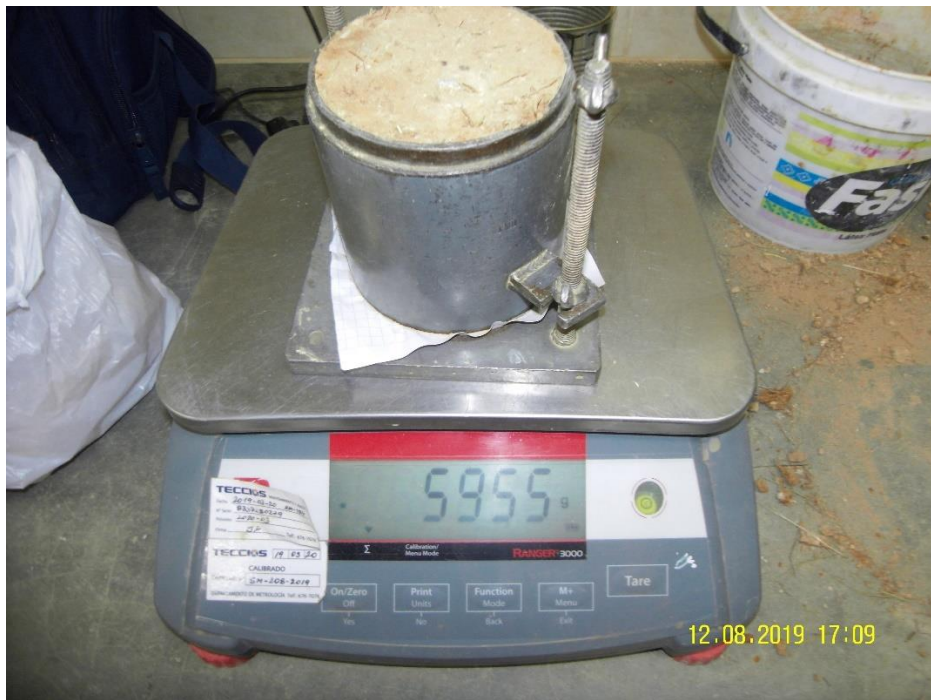


Figura 29. Peso de la muestra de Proctor modificado.



*Figura 30.* Muestra del peso y del volumen del ensayo.



*Figura 31.* Pesando la tara para Proctor modificado.





Figura 32. Máquina CINVA RAM para la elaboración de adobes.



Figura 33. Ensayo de resistencia a compresión axial en Laboratorio UPN.

**ANEXO N°2: Procesamiento de datos.**

Tabla 27

*Contenido de Humedad – ASTM D2216.*

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>A</b>	Identificación del recipiente o tara	-	CH1	CH2	CH3
<b>B</b>	Peso del recipiente	g	36.90	37.50	27.10
<b>C</b>	Recipiente + material natural	g	237.10	254.50	156.50
<b>D</b>	Recipiente + material seco	g	228.50	245.30	151.20
<b>E</b>	Peso del material húmedo	g	200.20	217.00	129.40
<b>F</b>	Peso del material seco	g	191.60	207.80	124.10
<b>W%</b>	Porcentaje de humedad	%	4.49	4.43	4.27
<b>G</b>	Promedio de porcentaje de humedad	%		4.39	

Tabla 28

*Límite Líquido (LL) – ASTM D4318.*

<b>ID</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>A</b>	Identificación de recipiente.	N°	LL1	LL2	LL3
<b>B</b>	Suelo húmedo + recipiente.	g	84.30	87.00	58.40
<b>C</b>	Suelo seco + recipiente.	g	74.20	75.80	51.30
<b>D</b>	Peso de recipiente.	g	37.80	37.20	28.20
<b>E</b>	Peso del agua.	g	10.10	11.20	7.10
<b>F</b>	Peso suelo seco.	g	36.40	38.60	23.10
<b>G</b>	Número de golpes.	%	28	23	12
<b>H</b>	Contenido de humedad.	%	27.75	29.02	30.74

Tabla 29

*Límite Plástico (LP) – ASTM D4318.*

<b>ID</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>A</b>	Identificación de recipiente.	N°	LP1	LP2
<b>B</b>	Suelo húmedo + tara.	g	66.40	55.30
<b>C</b>	Suelo seco + tara.	g	62.00	51.00
<b>D</b>	Peso tara.	g	37.20	27.30
<b>E</b>	Peso del agua.	g	4.40	4.30
<b>F</b>	Peso suelo seco.	g	24.80	23.70
<b>G</b>	Contenido de humedad.	%	17.74	18.14
<b>H</b>	Promedio.			17.94

Tabla 30  
*Granulometría por lavado – ASTM D421.*

Tamiz	Abertura	P. Retenido	% PR	%RA	% que pasa
N°4	4.760	14.40	2.88	2.88	97.12
N°10	2.000	36.60	7.26	10.14	89.86
N°20	0.840	18.00	3.60	13.74	86.26
N°30	0.590	7.60	1.52	15.26	84.74
N°40	0.420	10.20	2.04	17.30	82.70
N°60	0.250	26.50	5.30	22.60	77.40
N°100	0.150	40.80	8.16	30.76	69.24
N°200	0.074	43.20	8.64	39.40	60.60
<b>Pérdida</b>	Lavado	303.00	60.60	100.00	0.00
<b>Total</b>		500.00	100.00		

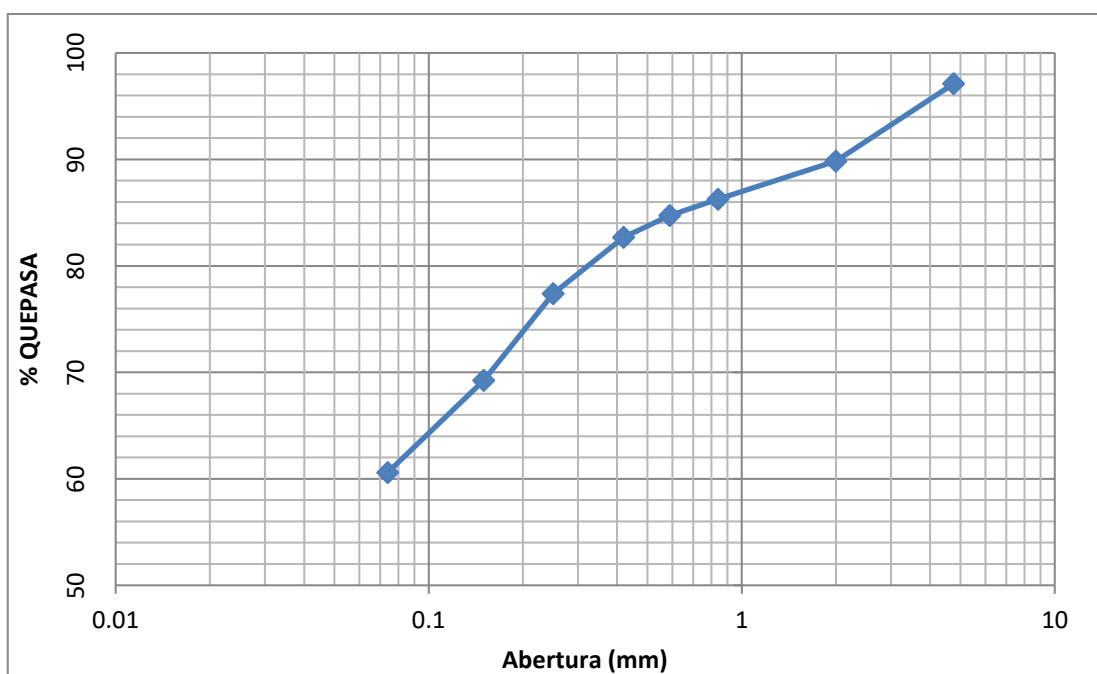


Figura 34. Análisis granulométrico por lavado.

Tabla 31

*Proctor modificado de la muestra patrón – ASTM D1557.*

ID	Descripción	Und	1		2		3		4	
A	Peso molde.	g	4174.00	4174.00	4174.00	4174.00	4174.00	4174.00	4174.00	4174.00
B	Pmh + mol.	g	6146.00	6178.00	6178.00	6202.00	6202.00	6218.00	6218.00	6218.00
C	Pmh.	g	1972.00	2004.00	2004.00	2028.00	2028.00	2044.00	2044.00	2044.00
D	Vmh.	cm <sup>3</sup>	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36
E	Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.14	2.18	2.18	2.20	2.20	2.22	2.22	2.22
F	Recipiente.	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
G	P. tara.	g	63.90	37.00	37.70	38.30	38.10	64.30	38.20	37.30
H	Pmh + tara.	g	182.20	104.80	107.70	102.60	168.70	252.40	145.30	208.10
I	Pms + tara.	g	172.40	98.70	101.10	96.70	155.10	233.20	133.20	189.20
J	P. agua.	g	9.80	6.10	6.60	5.90	13.60	19.20	12.10	18.90
K	P. seco.	g	108.50	61.70	63.40	58.40	117.00	168.90	95.00	151.90
L	W%.	%	9.03	9.89	10.41	10.10	11.62	11.37	12.74	12.44
M	W% prom.	%	9.46		10.26		11.50		12.59	
N	Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.955		1.973		1.974		1.970	

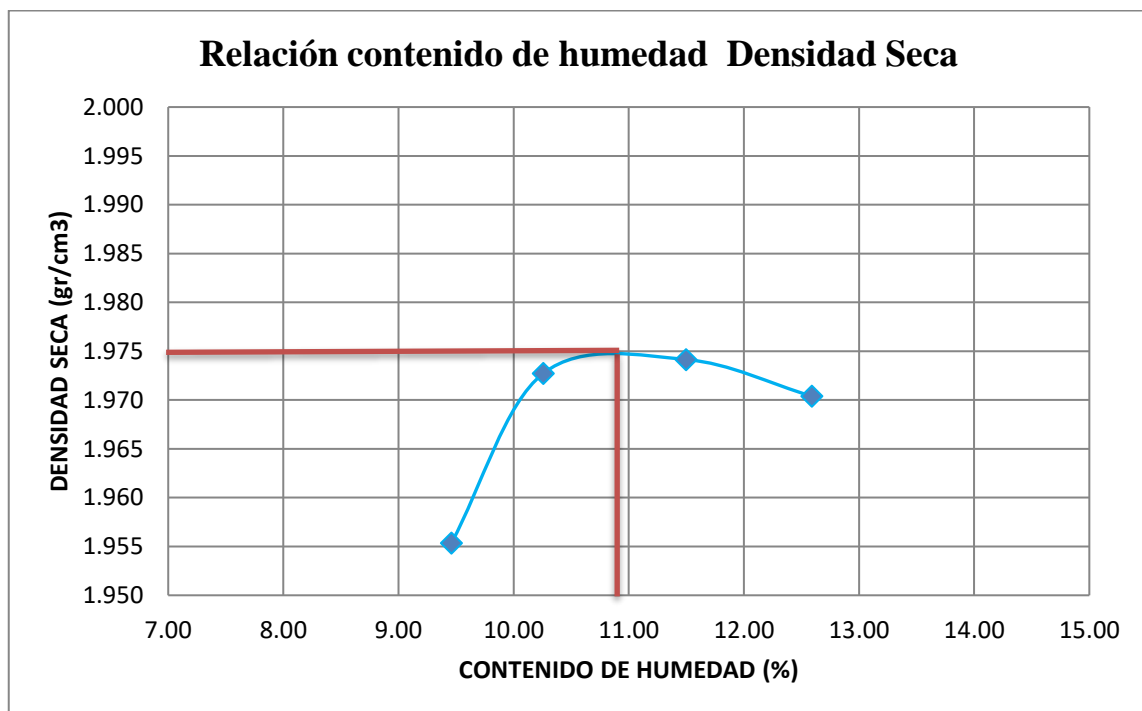


Figura 35. Proctor modificado para la muestra patrón.

Densidad máxima = 1.975 g/cm<sup>3</sup>.

Humedad óptima = 10.90%.

Tabla 32

*Proctor modificado de la muestra con 2% de Paja Toquilla – ASTM D1557.*

ID	Descripción	Und	1		2		3		4	
A	Peso molde.	g	4175.00	4175.00	4175.00	4175.00	4175.00	4175.00	4175.00	4175.00
B	Pmh + mol.	g	6107.00	6138.00	6138.00	6172.00	6172.00	6183.00	6183.00	6183.00
C	Pmh.	g	1932.00	1963.00	1963.00	1997.00	1997.00	2008.00	2008.00	2008.00
D	Vmh.	cm <sup>3</sup>	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36
E	Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.10	2.13	2.13	2.17	2.17	2.18	2.18	2.18
F	Recipiente.	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
G	P. tara.	g	37.00	37.30	37.20	37.70	37.20	37.80	37.30	37.50
H	Pmh + tara.	g	150.40	138.60	149.70	148.90	130.10	128.60	153.20	225.40
I	Pms + tara.	g	141.30	129.30	139.30	138.3	120.40	118.40	139.80	203.20
J	P. agua.	g	9.10	9.30	10.40	10.60	9.70	10.20	13.40	22.20
K	P. seco.	g	104.30	92.00	102.10	100.60	83.20	80.60	102.50	165.70
L	W%.	%	8.72	10.11	10.19	10.54	141.66	12.66	13.07	13.40
M	W% prom.	%	9.42		10.36		12.16		13.24	
N	Ds	g/cm	1.932		1.931		1.933		1.925	

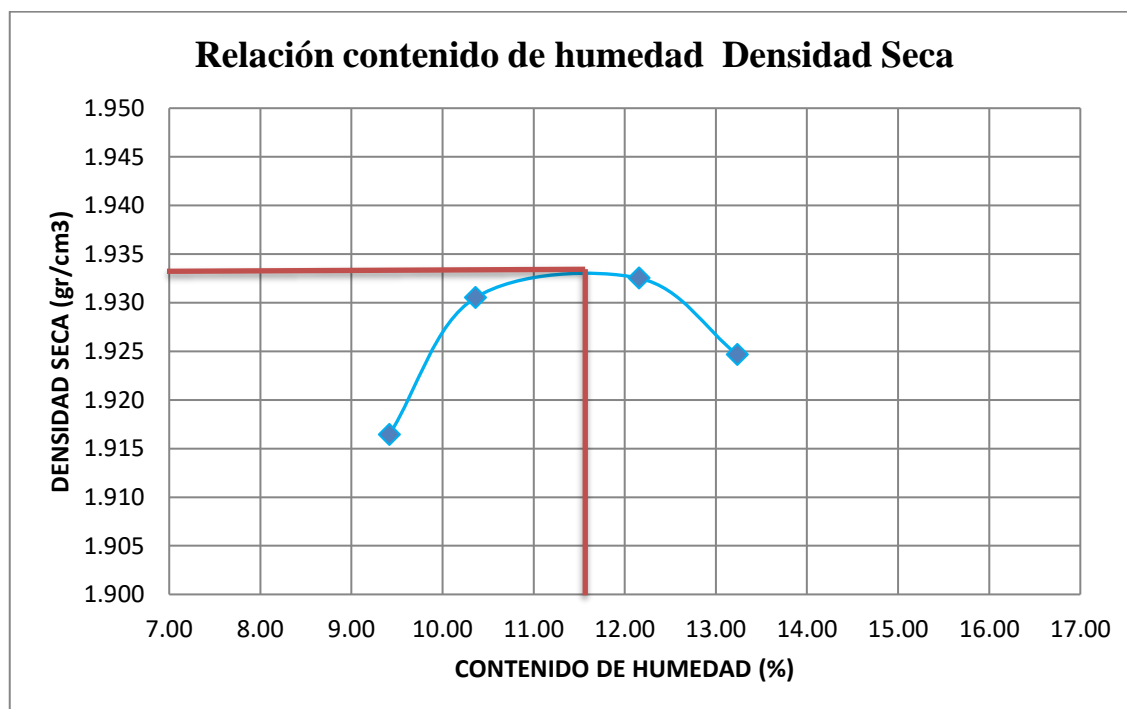


Figura 36. Proctor modificado para la muestra con 2% de Paja Toquilla.

Densidad máxima = 1.933 g/cm<sup>3</sup>.

Humedad óptima = 11.60%.

Tabla 33

*Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Toquilla – ASTM D1557.*

ID	Descripción	Und	1		2		3		4	
A	Peso molde.	g	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
B	Pmh + mol.	g	6105.00	6139.00	6139.00	6169.00	6169.00	6177.00	6177.00	6177.00
C	Pmh.	g	1933.00	1967.00	1967.00	1997.00	1997.00	2005.00	2005.00	2005.00
D	Vmh.	cm <sup>3</sup>	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36
E	Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.10	2.13	2.13	2.17	2.17	2.18	2.18	2.18
F	Recipiente.	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
G	P. tara.	g	72.50	27.80	63.80	37.10	38.00	37.6	38.80	64.50
H	Pmh + tara.	g	234.80	106.90	176.60	152.20	112.40	133.00	140.2	159.40
I	Pms + tara.	g	221.20	100.10	165.80	141.70	104.80	122.50	128.70	148.60
J	P. agua.	g	13.60	6.80	10.80	10.50	7.60	10.50	11.50	10.80
K	P. seco.	g	148.70	72.30	102.00	104.60	66.80	84.90	89.90	84.10
L	W%.	%	9.15	9.41	10.59	10.04	11.38	12.37	12.79	12.84
M	W% prom.	%	9.28		10.31		11.87		12.82	
N	Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.920		1.935		1.937		1.929	

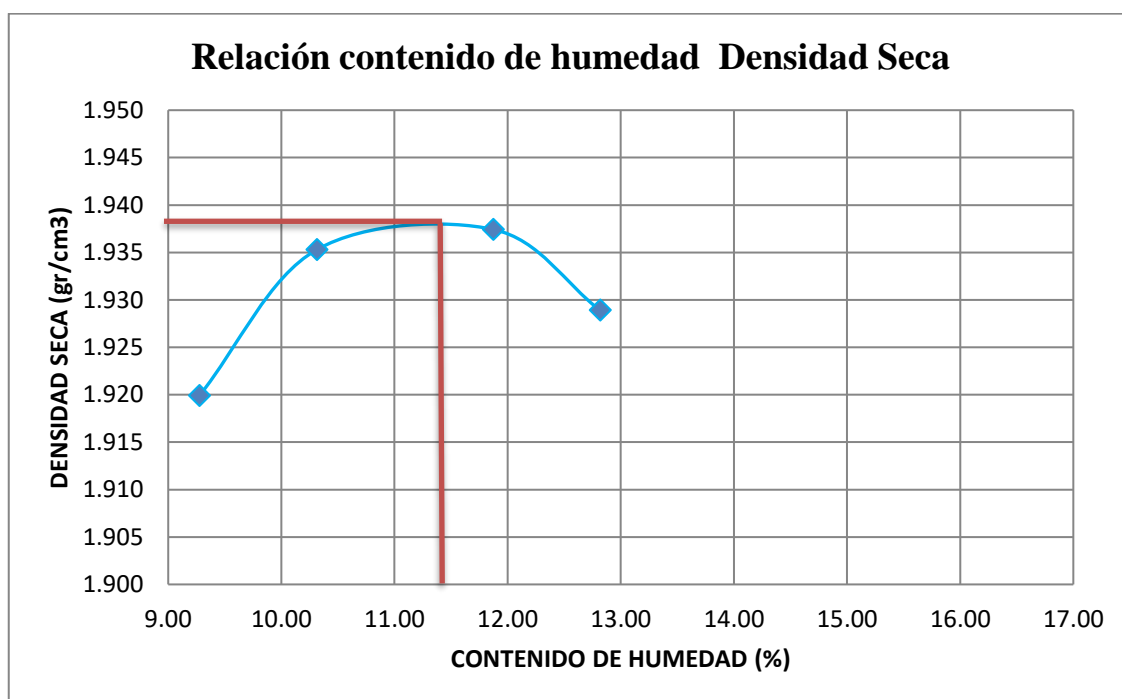


Figura 37. Proctor modificado para la muestra con 4% de Paja Toquilla.

Densidad máxima = 1.938 g/cm<sup>3</sup>.

Humedad óptima = 11.40%.

Tabla 34

*Proctor modificado de la muestra con 6% de Paja Toquilla – ASTM D1557.*

ID	Descripción	Und	1		2		3		4	
A	Peso molde.	g	4171.00	4171.00	4171.00	4171.00	4171.00	4171.00	4171.00	4171.00
B	Pmh + mol.	g	6132.00	6158.00	6158.00	6167.00	6167.00	6178.00	6178.00	6178.00
C	Pmh.	g	1961.00	1987.00	1987.00	1996.00	1996.00	2007.00	2007.00	2007.00
D	Vmh.	cm <sup>3</sup>	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36
E	Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.13	2.16	2.16	2.17	2.17	2.18	2.18	2.18
F	Recipiente.	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
G	P. tara.	g	37.10	72.50	37.60	37.70	37.60	37.40	38.10	38.10
H	Pmh + tara.	g	104.90	143.80	144.70	161.90	112.80	180.30	212.20	165.50
I	Pms + tara.	g	98.80	136.80	134.10	148.60	104.10	166.20	192.00	151.20
J	P. agua.	g	6.10	7.00	10.60	13.30	8.70	14.10	20.20	14.30
K	P. seco.	g	61.70	61.30	96.50	110.90	66.50	128.80	153.90	113.10
L	W%.	%	9.89	10.89	10.98	11.99	13.08	10.95	13.13	12.64
M	W% prom.	%	10.39		11.49		12.01		12.88	
N	Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.928		1.934		1.934		1.930	

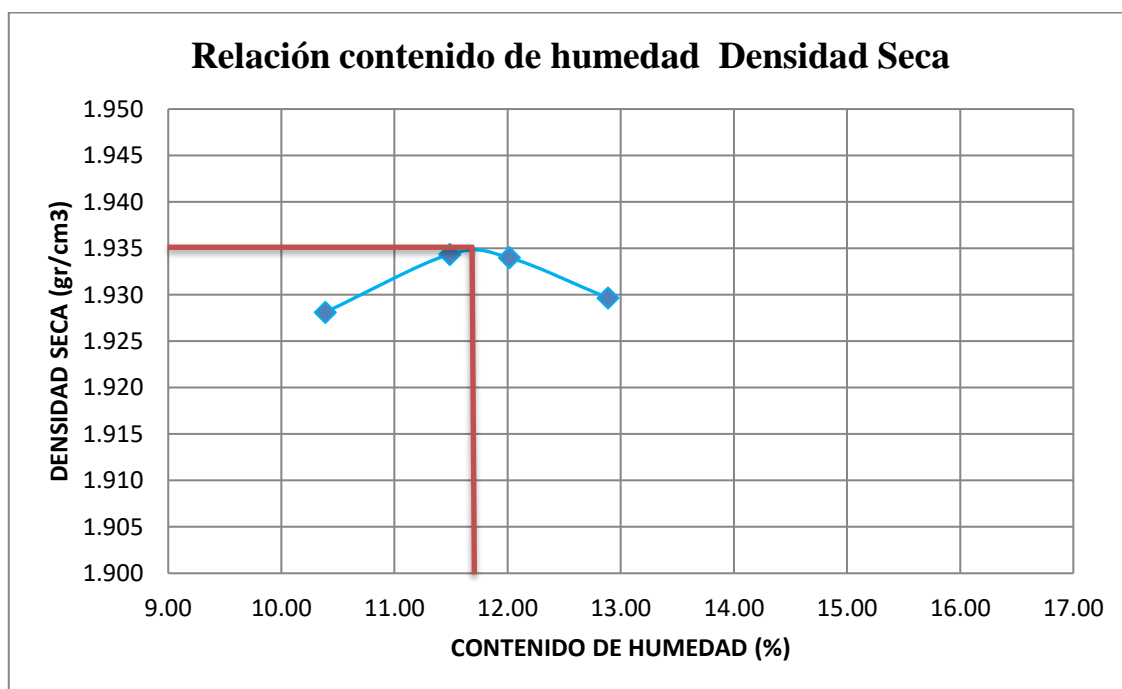


Figura 38. Proctor modificado para la muestra con 6% de Paja Toquilla.

Densidad máxima = 1.935 g/cm<sup>3</sup>.

Humedad óptima = 11.70%.

Tabla 35

*Proctor modificado de la muestra con 4% de Paja Ichu – ASTM D1557.*

ID	Descripción	Und	1		2		3		4	
A	Peso molde.	g	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	7172.00	4172.00		
B	Pmh + mol.	g	6086.00	6102.00	6102.00	6102.00	6133.00	6148.00		
C	Pmh.	g	1914.00	1930.00	1930.00	1930.00	1961.00	1976.00		
D	Vmh.	cm <sup>3</sup>	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36		
E	Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.08	2.09	2.09	2.09	2.13	2.14		
F	Recipiente.	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
G	P. tara.	g	27.90	27.80	63.90	36.90	38.70	27.2	72.50	64.40
H	Pmh + tara.	g	130.40	128.60	207.00	102.10	124.10	117.20	236.10	234.40
I	Pms + tara.	g	120.10	117.80	191.80	94.80	114.20	106.30	215.30	212.80
J	P. agua.	g	10.30	10.80	15.20	7.30	9.90	10.90	20.80	21.60
K	P. seco.	g	92.20	90.00	127.90	57.90	75.50	79.10	142.80	148.40
L	W%.	%	11.17	12.00	11.88	12.61	13.11	13.78	14.57	14.56
M	W% prom.	%	11.59		12.25		13.45		14.56	
N	Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.862		1.866		1.876		1.872	

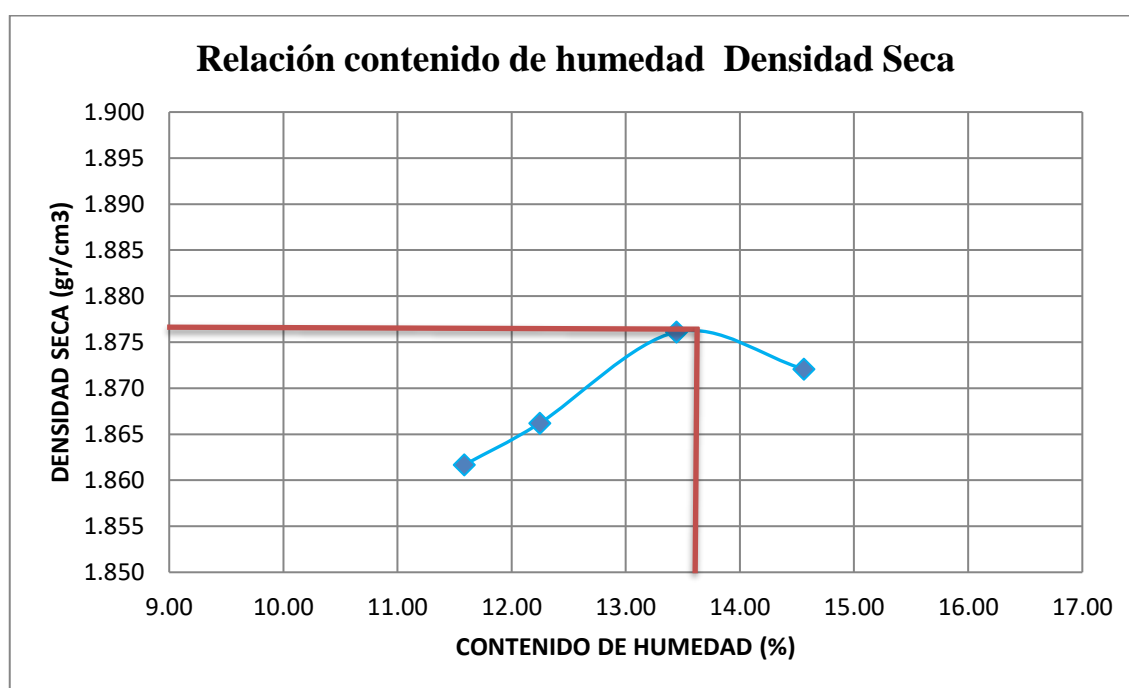


Figura 39. Proctor modificado para la muestra con 4% de Paja Ichu.

Densidad máxima = 1.877 g/cm<sup>3</sup>.

Humedad óptima = 13.65%.



Tabla 36

*Proctor modificado de la muestra con 8% de Paja Ichu – ASTM D1557.*

ID	Descripción	Und	1		2		3		4	
A	Peso molde.	g	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00	4172.00
B	Pmh + mol.	g	6067.00	6098.00	6098.00	6118.00	6118.00	6132.00	6132.00	6132.00
C	Pmh.	g	1895.00	1926.00	1926.00	1946.00	1946.00	1960.00	1960.00	1960.00
D	Vmh.	cm <sup>3</sup>	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36	921.36
E	Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.06	2.09	2.09	2.11	2.11	2.13	2.13	2.13
F	Recipiente.	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
G	P. tara.	g	37.10	38.20	37.50	37.40	37.50	37.60	37.70	37.80
H	Pmh + tara.	g	112.20	103.70	113.60	111.30	138.50	125.90	122.40	126.50
I	Pms + tara.	g	105.50	97.30	106.10	103.30	127.20	115.40	111.80	115.30
J	P. agua.	g	6.70	6.40	7.50	8.00	11.30	10.50	10.60	11.20
K	P. seco.	g	68.40	59.10	68.60	65.90	89.70	77.80	74.10	7.50
L	W%.	%	9.80	10.83	10.93	12.14	12.60	12.50	14.30	14.45
M	W% prom.	%	10.31		11.54		13.05		14.38	
N	Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.864		1.874		1.868		1.860	

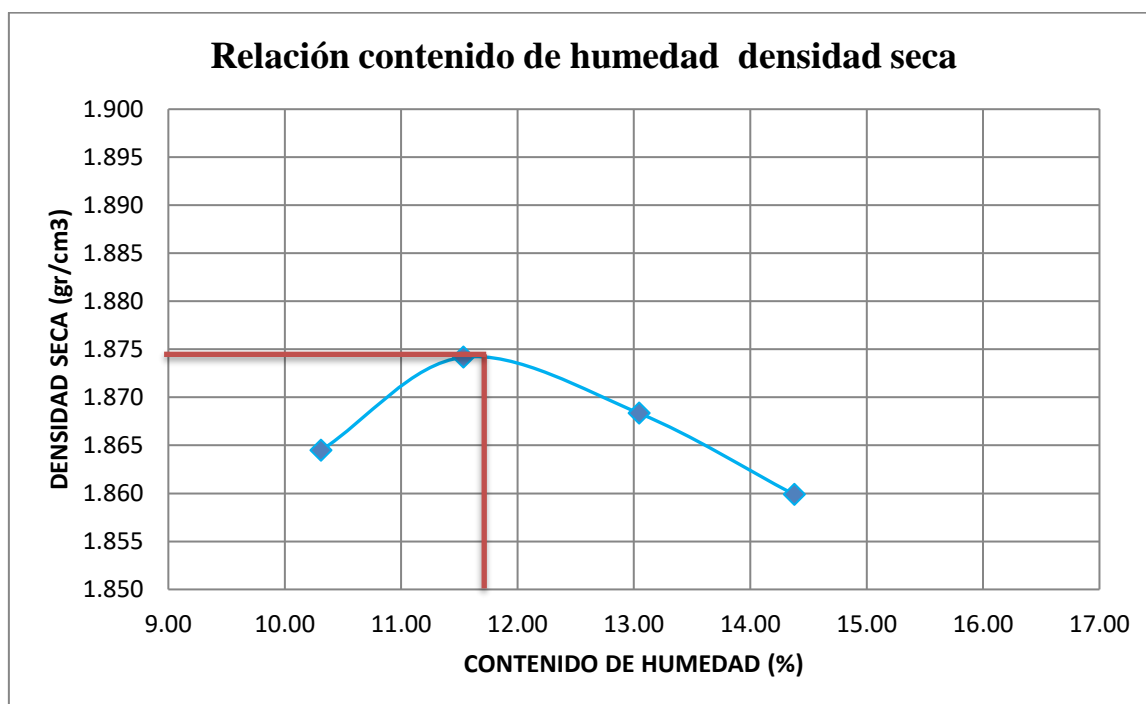


Figura 40. Proctor modificado para la muestra con 8% de Paja Ichu.

Densidad máxima = 1.874 g/cm<sup>3</sup>.

Humedad óptima = 11.70%.

Tabla 37

*Proctor modificado de la muestra con 12% de Paja Ichu – ASTM D1557.*

ID	Descripción	Und	1		2		3		4	
A	Peso molde.	g	4171.00	4171.00	4171.00	4171.00	4171.00	4171.00		
B	Pmh + mol.	g	6091.00	6118.00	6141.00	6150.00				
C	Pmh.	g	1920.00	1947.00	1970.00	1979.00				
D	Vmh.	cm <sup>3</sup>	921.36	921.36	921.36	921.36				
E	Dh.	g/cm <sup>3</sup>	2.08	2.11	2.14	2.15				
F	Recipiente.	N°	a	b	a	b	a	b	a	b
G	P. tara.	g	63.90	64.40	36.90	27.20	27.90	38.70	37.10	27.80
H	Pmh + tara.	g	126.80	142.80	103.00	82.50	95.00	135.60	134.50	95.90
I	Pms + tara.	g	120.40	133.80	95.10	76.10	86.50	123.10	121.30	86.60
J	P. agua.	g	6.40	9.00	7.90	6.40	8.50	12.50	13.20	9.30
K	P. seco.	g	56.50	69.40	58.20	48.90	58.60	84.40	84.20	58.80
L	W%.	%	11.33	12.97	13.57	13.09	14.51	14.81	15.68	15.82
M	W% prom.	%	12.15		13.33		14.66		15.75	
N	Ds	g/cm <sup>3</sup>	1.858		1.865		1.865		1.856	

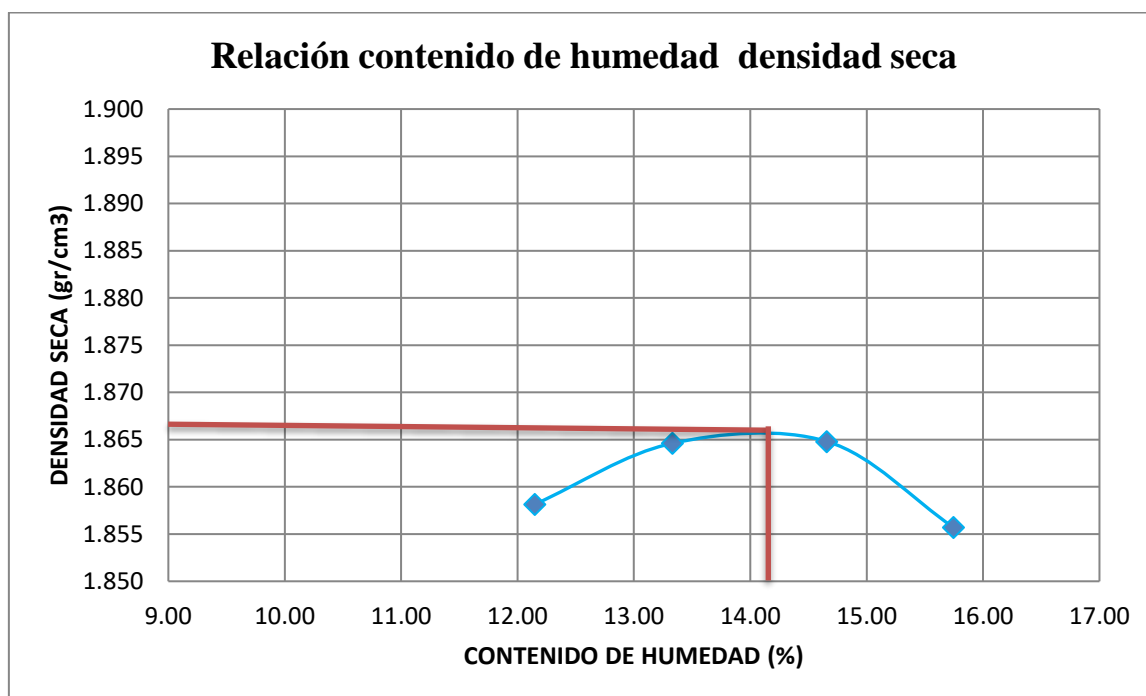


Figura 41. Proctor modificado para la muestra con 12% de Paja Ichu.

Densidad máxima = 1.866 g/cm<sup>3</sup>.

Humedad óptima = 14.15%.

### Ensayo de resistencia a compresión

#### Muestra A-1 - Patrón

Tabla 38

*Dimensiones de la muestra A-1.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.50 cm	14.00 cm	11.50 cm	217.00 cm <sup>2</sup>

Tabla 39

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-1.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	2.97	11.52
500	0.36	2.30	3000	3.48	13.82
1000	1.04	4.61	3500	4.17	16.13
1500	1.59	6.91	4000	6.02	18.43
2000	2.21	9.22	4419	7.91	20.36

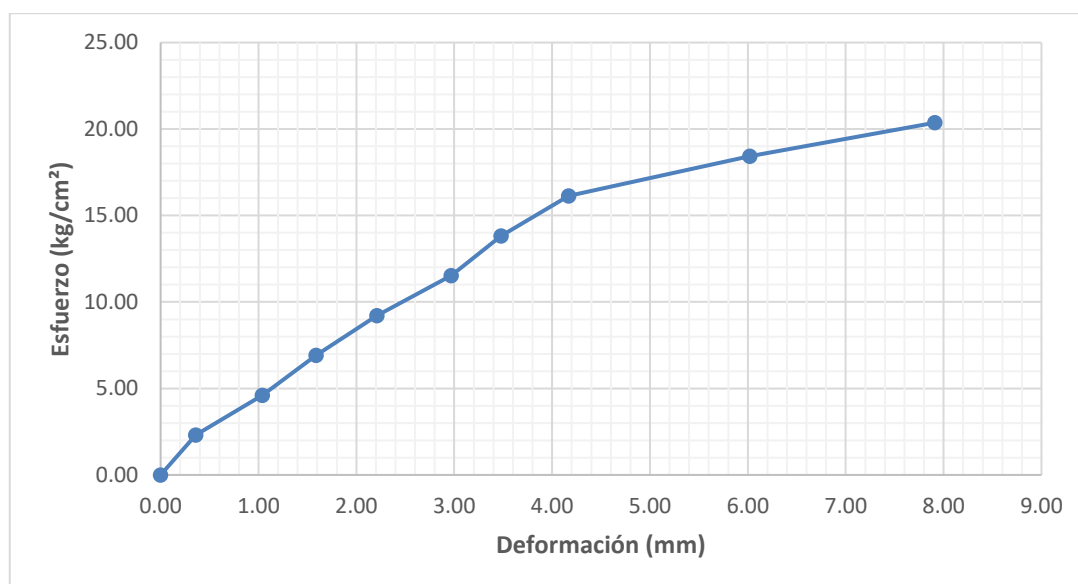


Figura 42. Esfuerzo vs deformación A-1, 0% fibras.

### Muestra A-2 - Patrón

Tabla 40

*Dimensiones de la muestra A-2.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.60 cm	14.60 cm	9.10 cm	227.76 cm <sup>2</sup>

Tabla 41

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-2.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	5.10	13.17
500	1.47	2.20	3500	5.19	15.37
1000	2.77	4.39	4000	5.28	17.56
1500	3.55	6.59	4500	5.58	19.76
2000	4.02	8.78	4645	5.80	20.39
2500	4.53	10.98			

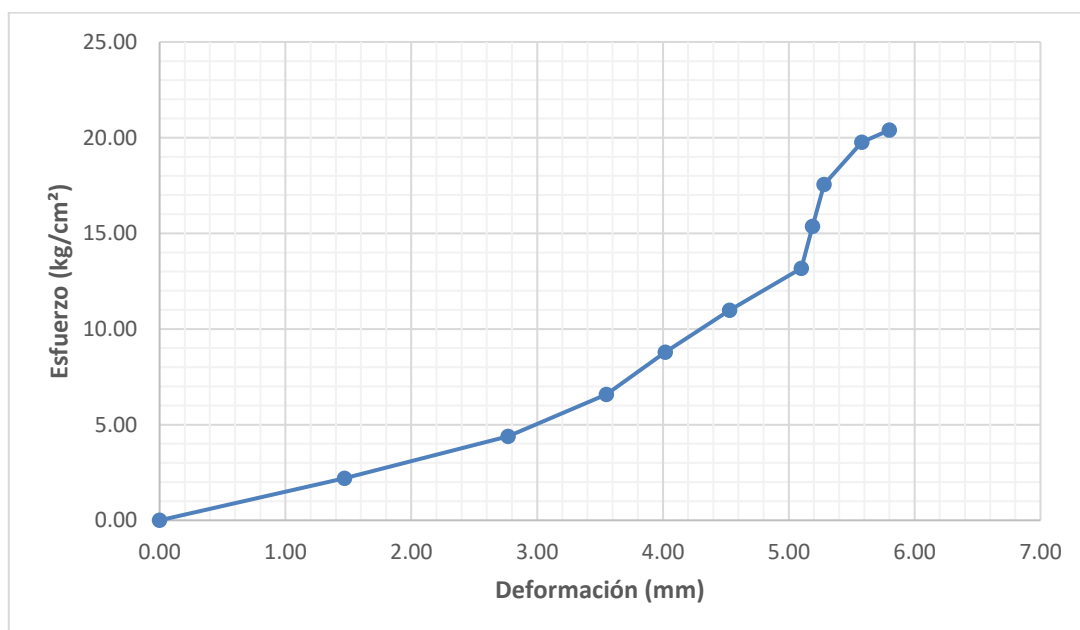


Figura 43. Esfuerzo vs deformación A-2, 0% fibras.

### Muestra A-3 - Patrón

Tabla 42

*Dimensiones de la muestra A-3.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.30 cm	14.40 cm	11.50 cm	220.32 cm <sup>2</sup>

Tabla 43

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-3.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	3.34	11.35
500	0.91	2.27	3000	3.91	13.62
1000	1.70	4.54	3500	4.62	15.86
1500	2.20	6.81	4000	5.65	18.16
2000	2.73	9.08	4389	7.97	19.92

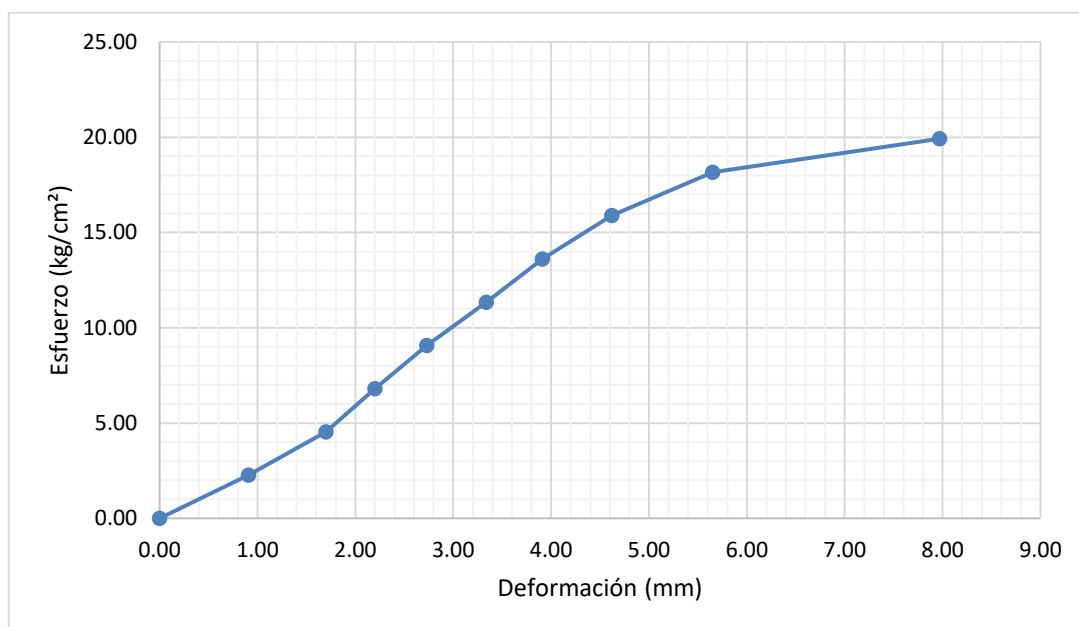


Figura 44. Esfuerzo vs deformación A-3, 0% fibras.

### Muestra A-4 - Patrón

Tabla 44

*Dimensiones de la muestra A-4.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.80 cm	13.60 cm	9.80 cm	201.28 cm <sup>2</sup>

Tabla 45

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-4.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	2.66	12.42
500	0.57	2.48	3000	3.57	14.90
1000	0.99	4.97	3500	4.71	17.39
1500	1.48	7.45	3877	6.65	19.29
2000	2.01	9.94			

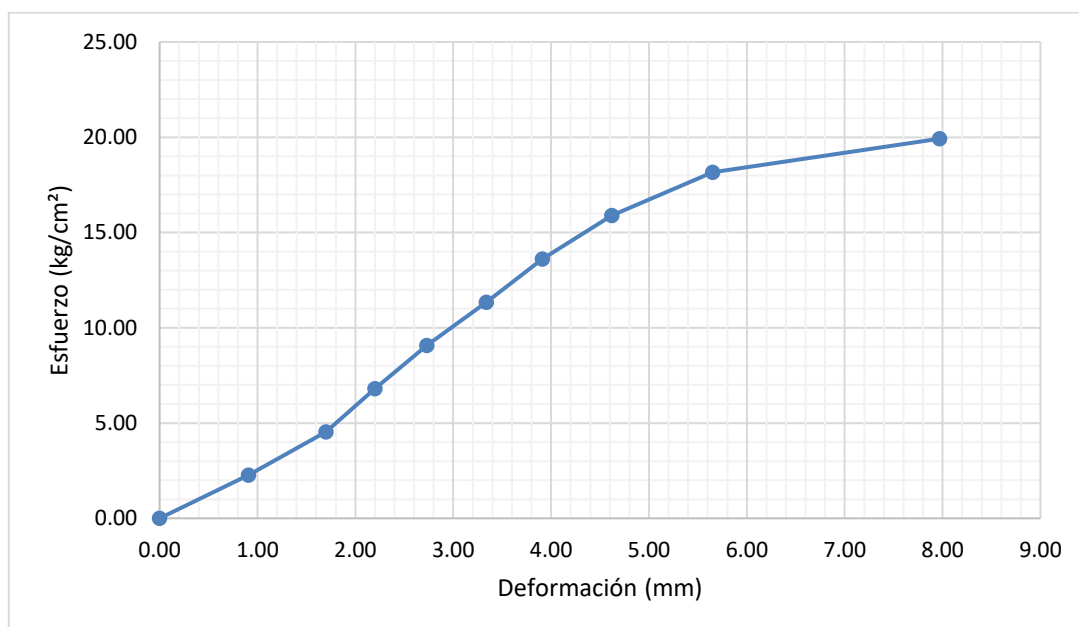


Figura 45. Esfuerzo vs deformación A-4, 0% fibras.

### Muestra A-5 - Patrón

Tabla 46

*Dimensiones de la muestra A-5.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.30 cm	11.10 cm	214.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 47

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-5.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	3.04	11.66
500	0.91	2.33	3000	3.69	13.99
1000	1.52	4.66	3500	4.74	16.32
1500	2.07	6.99	4000	5.22	18.65
2000	2.53	9.32	4070	5.78	18.97

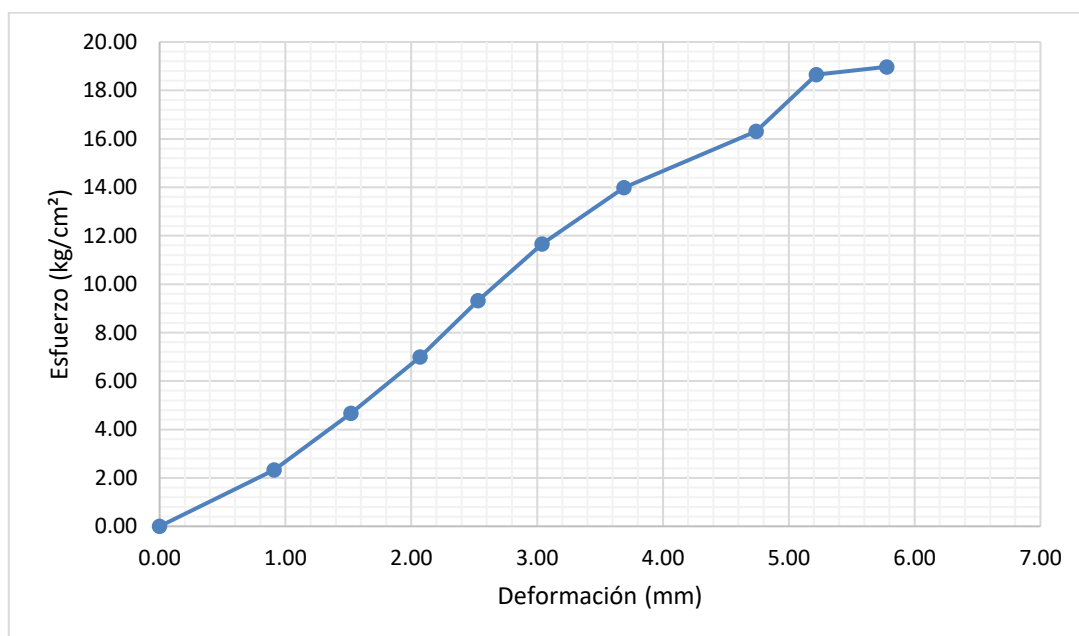


Figura 46. Esfuerzo vs deformación A-5, 0% fibras.

### Muestra A-6 - Patrón

Tabla 48

*Dimensiones de la muestra A-6.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.10 cm	14.30 cm	10.50 cm	215.93 cm <sup>2</sup>

Tabla 49

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-6.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	3.93	13.89
500	0.43	2.32	3500	4.52	16.21
1000	1.18	4.63	4000	5.08	18.52
1500	1.87	6.95	4500	6.61	20.84
2000	2.68	9.26	4819	7.19	22.32
2500	3.40	11.58			

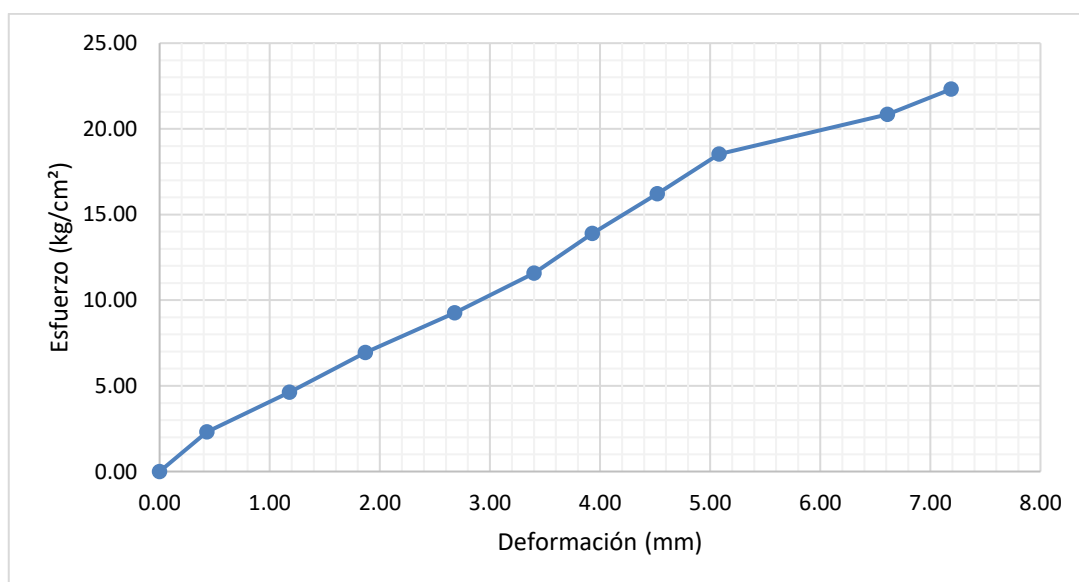


Figura 47. Esfuerzo vs deformación A-6, 0% fibras.



**Muestra A-7 - Patrón**

Tabla 50

*Dimensiones de la muestra A-7.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.90 cm	14.60 cm	10.10 cm	217.54 cm <sup>2</sup>

Tabla 51

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-7.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	4.79	11.49
500	0.57	2.30	3000	5.73	13.79
1000	1.52	4.60	3500	6.58	16.09
1500	2.56	6.90	4000	7.45	18.39
2000	3.68	9.19	4263	9.13	19.60

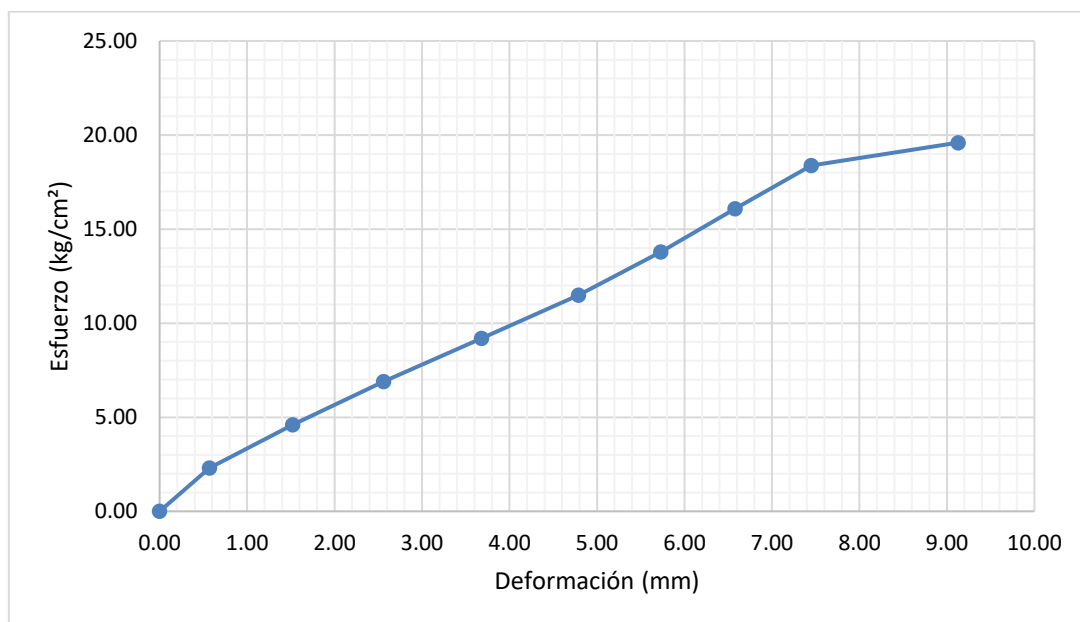


Figura 48. Esfuerzo vs deformación A-7, 0% fibras.

### Muestra A-8 - Patrón

Tabla 52

*Dimensiones de la muestra A-8.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.30 cm	14.80 cm	9.50 cm	226.44 cm <sup>2</sup>

Tabla 53

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra A-8.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	6.12	13.25
500	1.46	2.21	3500	6.73	15.46
1000	2.41	4.42	4000	7.55	17.66
1500	3.62	6.62	4500	8.49	19.87
2000	4.26	8.83	4685	9.87	20.69
2500	5.32	11.04			

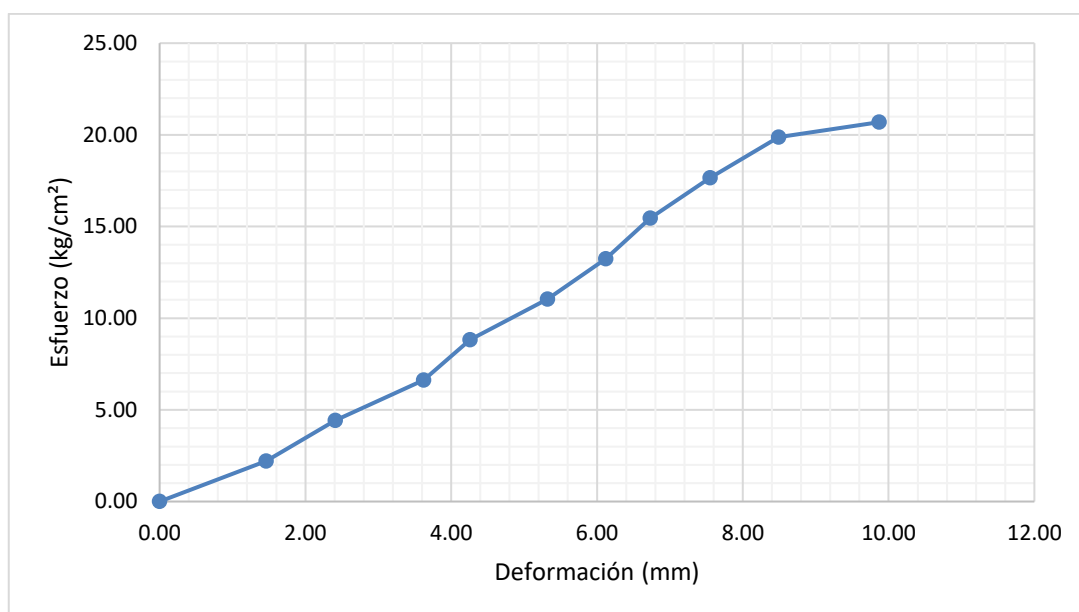


Figura 49. Esfuerzo vs deformación A-8, 0% fibras.

**Muestra B-1 – 2% Paja Toquilla**

Tabla 54

*Dimensiones de la muestra B-1.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.90 cm	14.50 cm	8.60 cm	216.05 cm <sup>2</sup>

Tabla 55

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-1.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	4000	4.64	18.51
500	1.14	2.31	4500	4.97	20.83
1000	2.18	4.63	5000	5.35	23.14
1500	2.82	6.94	5500	6.93	25.46
2000	3.28	9.26	6000	6.58	27.77
2500	3.62	11.57	6500	7.40	30.09
3000	3.92	13.89	6968	8.25	32.25
3500	4.30	16.20			

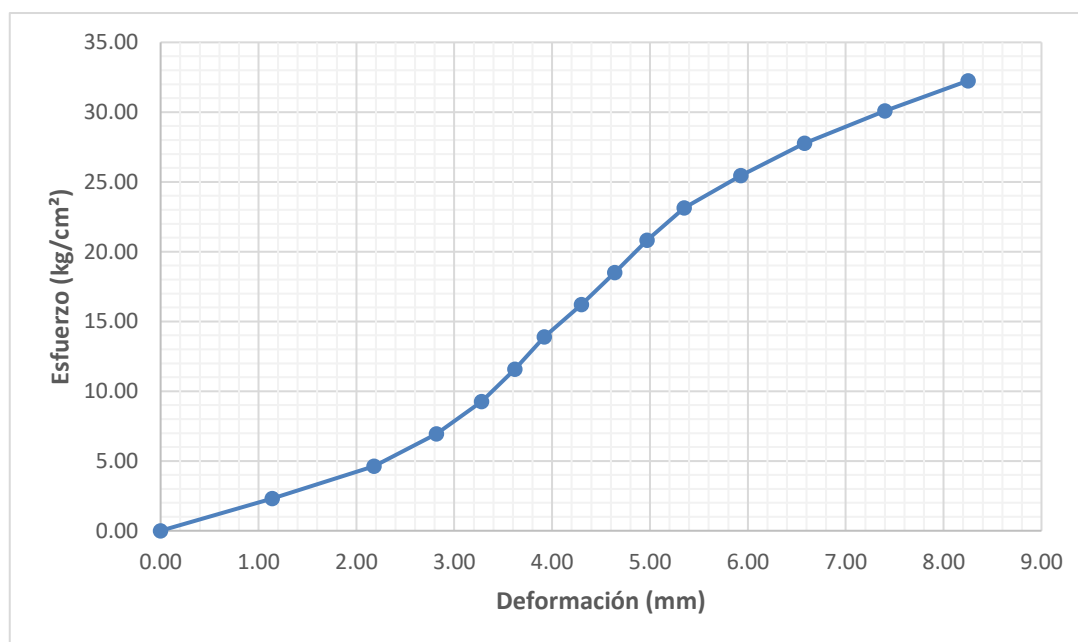


Figura 50. Esfuerzo vs deformación B-1, 2% fibras.

**Muestra B-2 – 2% Paja Toquilla**

Tabla 56

*Dimensiones de la muestra B-2.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.60 cm	14.10 cm	10.10 cm	205.86 cm <sup>2</sup>

Tabla 57

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-2.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	1.67	12.14
500	0.85	2.43	3000	2.34	14.57
1000	1.08	4.86	3500	2.98	17.00
1500	1.25	7.29	4000	4.38	19.43
2000	1.45	9.72	4106	5.30	19.95

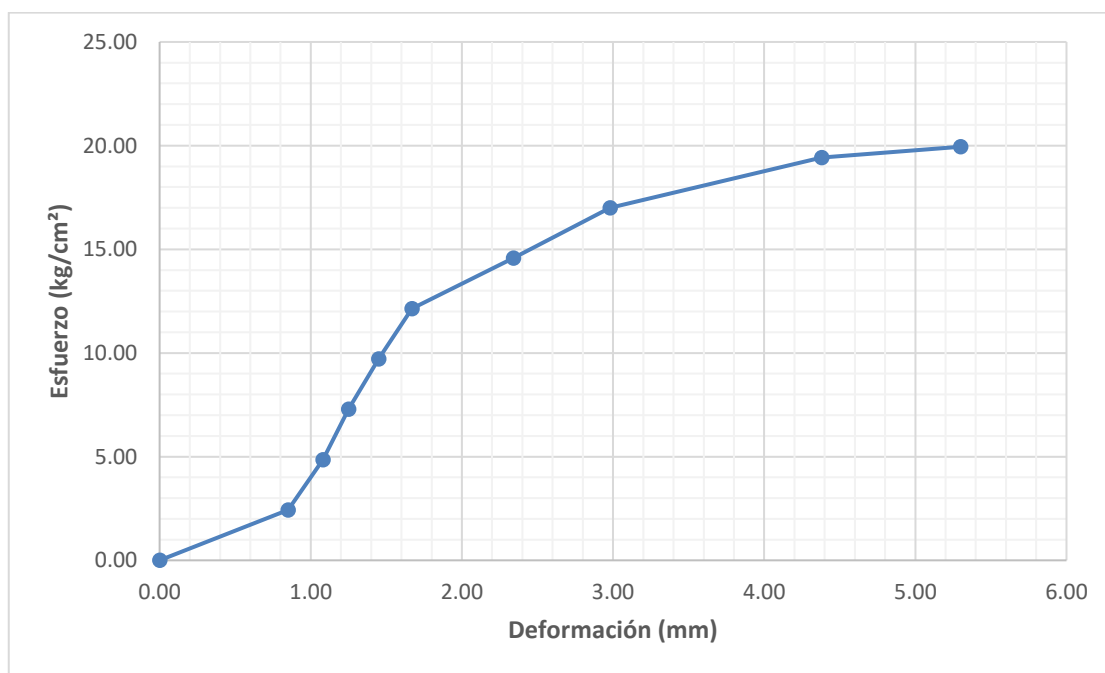


Figura 51. Esfuerzo vs deformación B-2, 2% fibras.

### Muestra B-3 – 2% Paja Toquilla

Tabla 58

*Dimensiones de la muestra B-3.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.90 cm	14.60 cm	10.40 cm	217.54 cm <sup>2</sup>

Tabla 59

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-3.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	2.33	16.09
500	0.43	2.30	4000	2.64	18.39
1000	0.80	4.60	4500	2.98	20.69
1500	1.11	6.90	5000	3.65	22.98
2000	1.40	9.19	5500	4.70	25.28
2500	1.76	11.46	5631	5.83	25.88
3000	2.03	13.79			

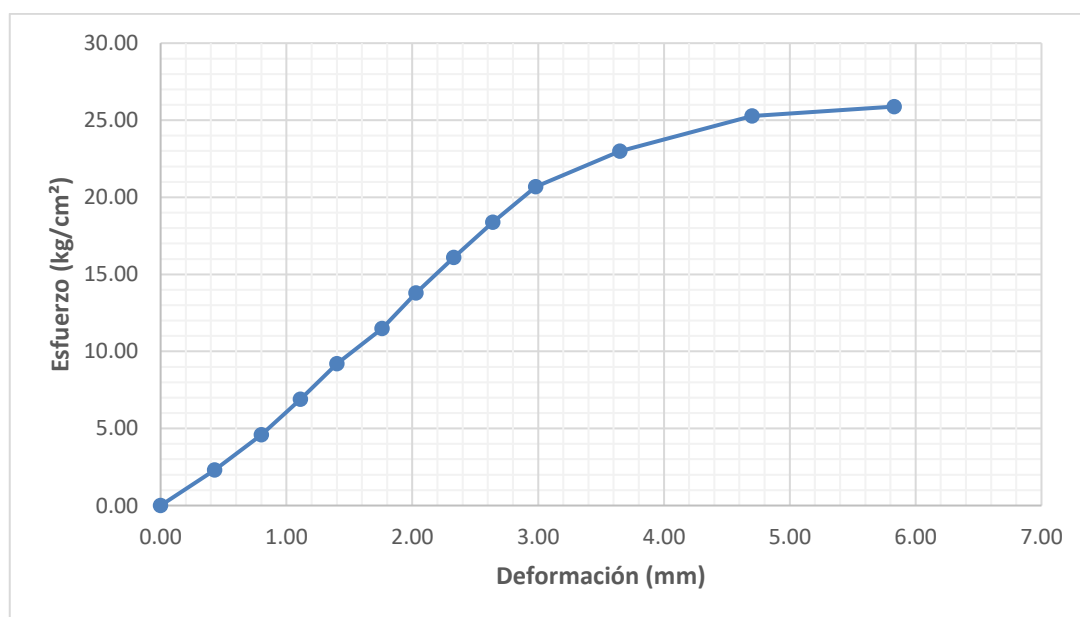


Figura 52. Esfuerzo vs deformación B-3, 2% fibras.

**Muestra B-4 – 2% Paja Toquilla**

Tabla 60

*Dimensiones de la muestra B-4.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.20 cm	14.10 cm	10.40 cm	214.32 cm <sup>2</sup>

Tabla 61

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-4.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	3.66	14.00
500	0.81	2.33	3500	4.74	16.33
1000	1.32	4.67	4000	5.14	18.66
1500	1.82	7.00	4500	6.18	21.00
2000	2.18	9.33	5000	7.07	23.33
2500	2.62	11.66	5231	7.72	24.41

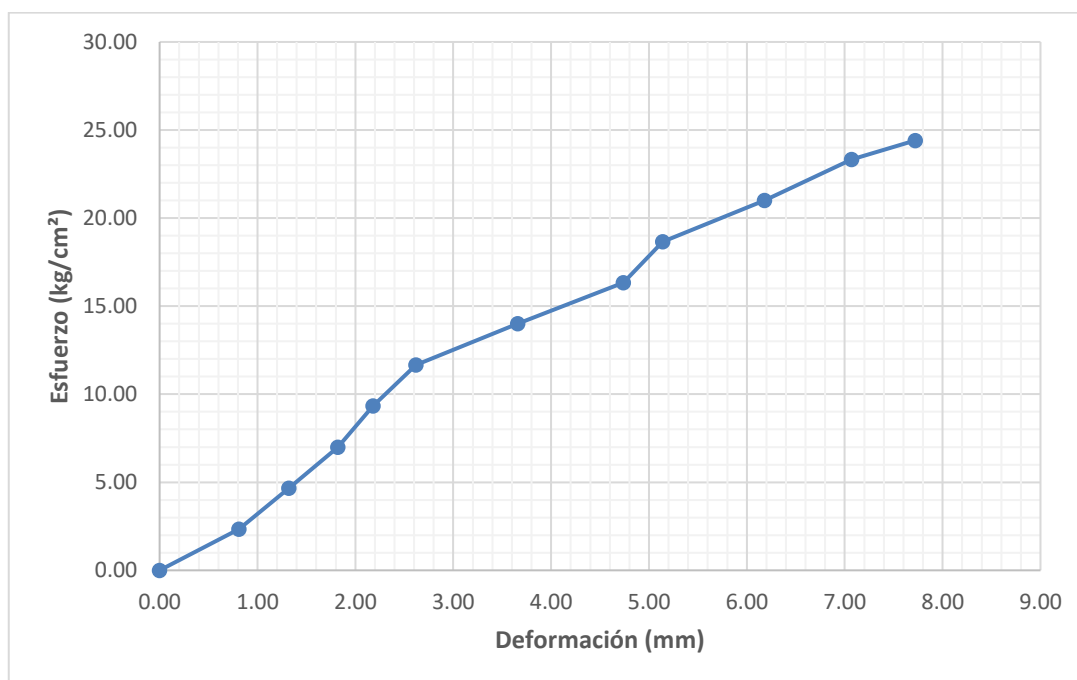


Figura 53. Esfuerzo vs deformación B-4, 2% fibras.

**Muestra B-5 – 2% Paja Toquilla**

Tabla 62

*Dimensiones de la muestra B-5.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.20 cm	11.20 cm	213.00 cm <sup>2</sup>

Tabla 63

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-5.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	3.49	16.43
500	0.87	2.35	4000	3.77	18.78
1000	1.59	4.69	4500	4.33	21.13
1500	1.96	7.04	5000	5.52	23.47
2000	2.29	9.39	5500	6.23	25.82
2500	2.88	11.74	5811	7.35	27.28
3000	3.20	14.08			

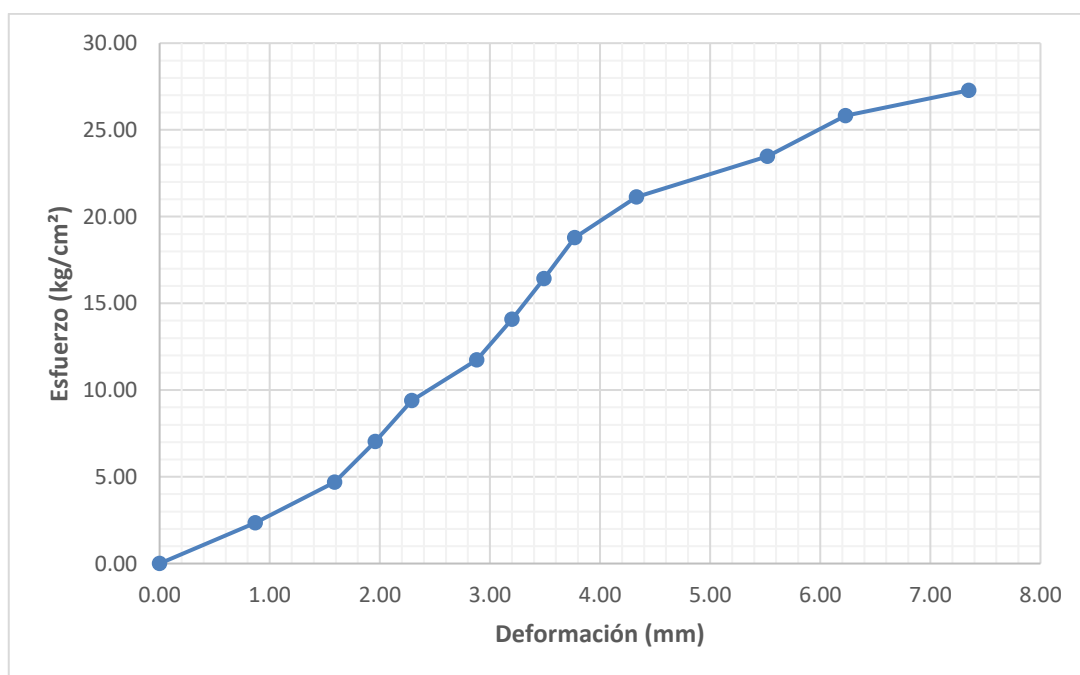


Figura 54. Esfuerzo vs deformación B-5, 2% fibras.

### Muestra B-6 – 2% Paja Toquilla

Tabla 64

*Dimensiones de la muestra B-6.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.70 cm	9.20 cm	220.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 65

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-6.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	3.45	15.87
500	0.97	2.27	4000	3.72	18.14
1000	1.28	4.54	4500	4.11	20.41
1500	1.93	6.80	5000	4.53	22.68
2000	2.38	9.07	5500	4.92	24.94
2500	2.71	11.34	6000	5.40	27.21
3000	3.08	13.61	6515	6.25	29.55

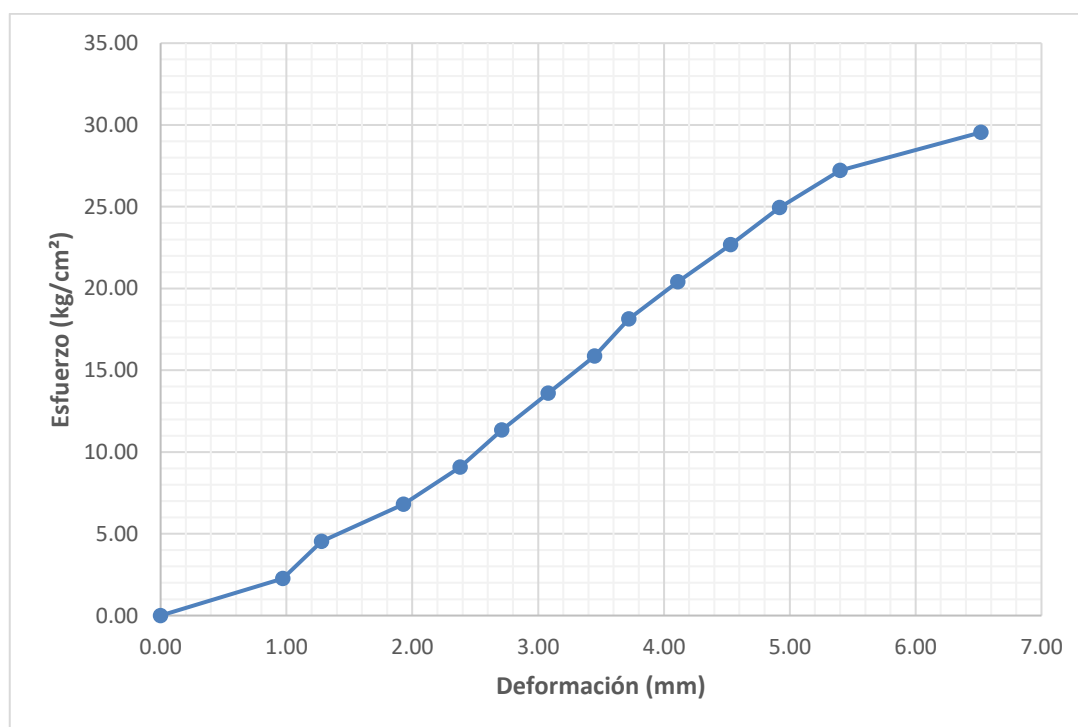


Figura 55. Esfuerzo vs deformación B-6, 2% fibras.



**Muestra B-7 – 2% Paja Toquilla**

Tabla 66

*Dimensiones de la muestra B-7.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.40 cm	10.20 cm	216.00 cm <sup>2</sup>

Tabla 67

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-7.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	5.86	16.20
500	1.01	2.31	4000	6.56	18.52
1000	1.87	4.63	4500	7.77	20.83
1500	2.42	6.94	5000	8.93	23.15
2000	2.97	9.26	5500	9.82	25.46
2500	3.63	11.57	5662	10.42	26.21
3000	4.62	13.89			

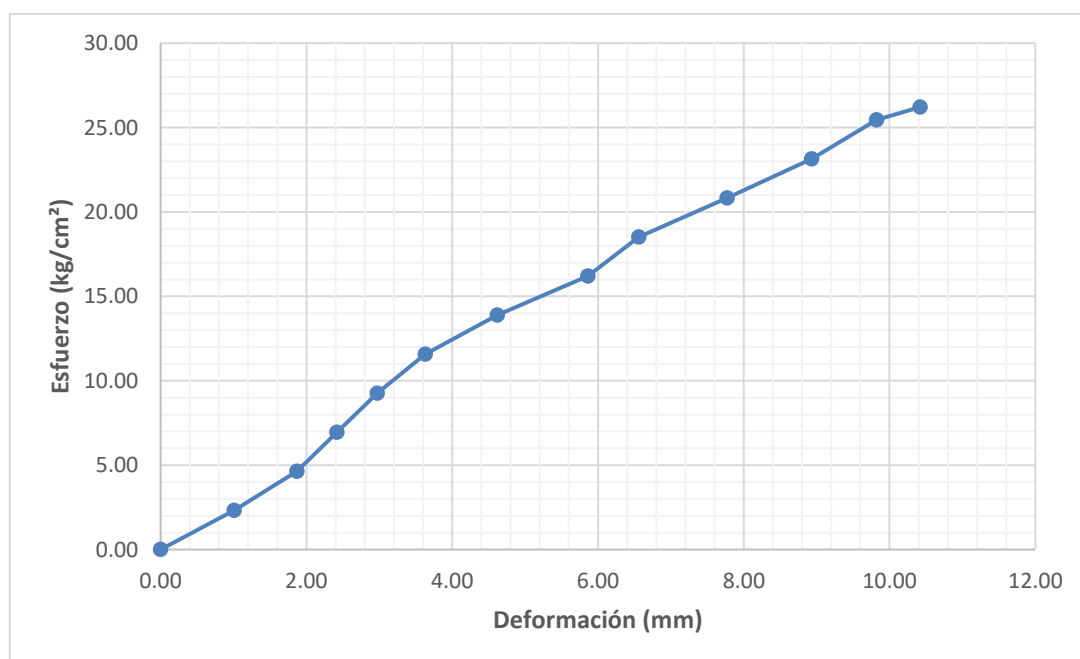


Figura 56. Esfuerzo vs deformación B-7, 2% fibras.

### Muestra B-8 – 2% Paja Toquilla

Tabla 68

*Dimensiones de la muestra B-8.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.10 cm	14.60 cm	9.80 cm	220.46 cm <sup>2</sup>

Tabla 69

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra B-8.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	5.18	15.88
500	1.16	2.27	4000	5.78	18.14
1000	2.28	4.54	4500	6.43	20.41
1500	2.91	6.80	5000	8.04	22.68
2000	3.57	9.07	5500	9.25	24.95
2500	4.17	11.34	5734	10.61	26.01
3000	4.75	13.61			

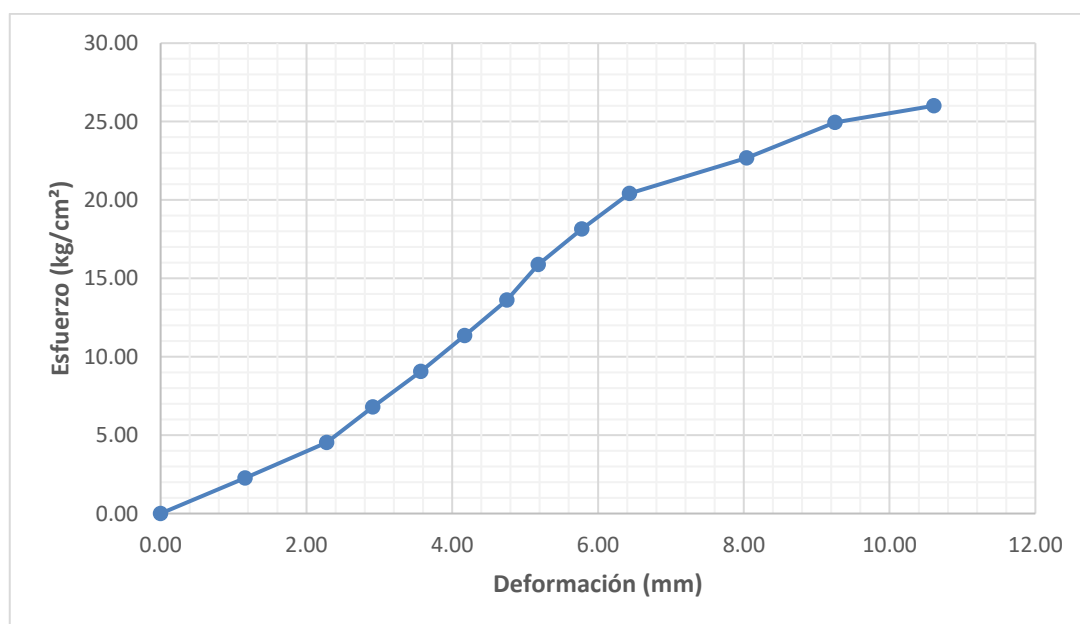


Figura 57. Esfuerzo vs deformación B-8, 2% fibras.

**Muestra C-1 – 4% Paja Toquilla**

Tabla 70

*Dimensiones de la muestra C-1.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.90 cm	14.50 cm	11.80 cm	216.05 cm <sup>2</sup>

Tabla 71

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-1.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	5.42	16.20
500	1.62	2.31	4000	6.27	18.51
1000	2.38	4.63	4500	6.85	20.83
1500	3.24	6.94	5000	7.26	23.14
2000	3.85	9.26	5500	8.14	25.46
2500	4.26	11.57	5913	9.17	27.37
3000	5.02	13.89	3500	5.42	16.20

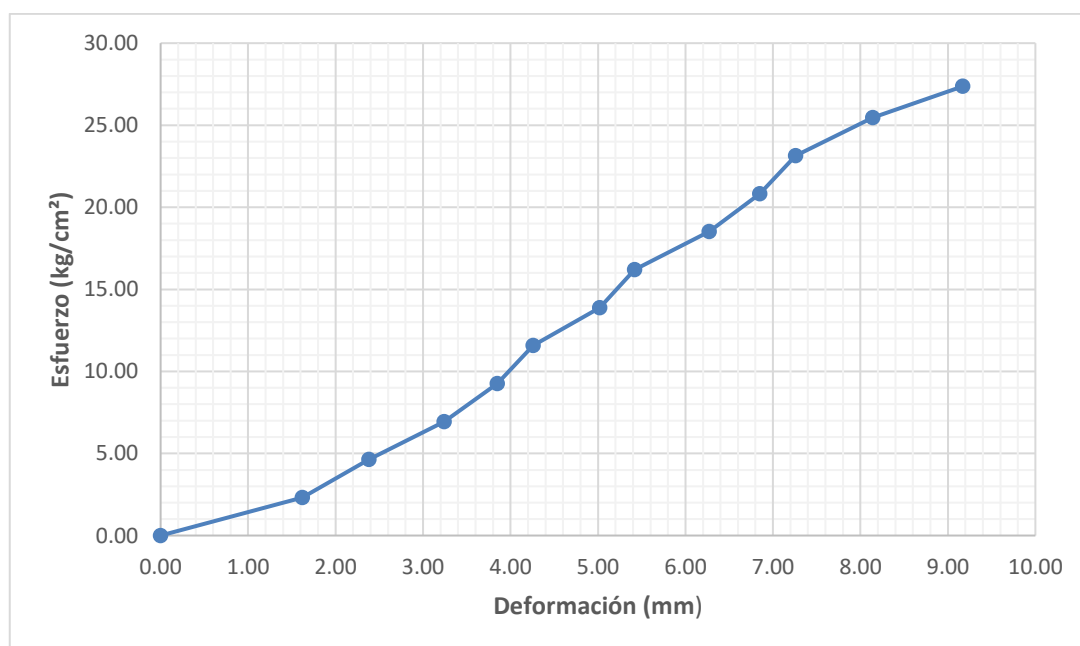


Figura 58. Esfuerzo vs deformación C-1, 4% fibras.

**Muestra C-2 – 4% Paja Toquilla**

Tabla 72

*Dimensiones de la muestra C-2.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.50 cm	13.90 cm	11.90 cm	215.45 cm <sup>2</sup>

Tabla 73

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-2.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	4.23	13.92
500	1.26	2.32	3500	4.96	16.25
1000	2.08	4.64	4000	5.74	18.57
1500	2.76	6.96	4500	6.58	20.89
2000	3.36	9.28	5000	7.92	23.21
2500	3.78	11.60	5461	9.24	25.35

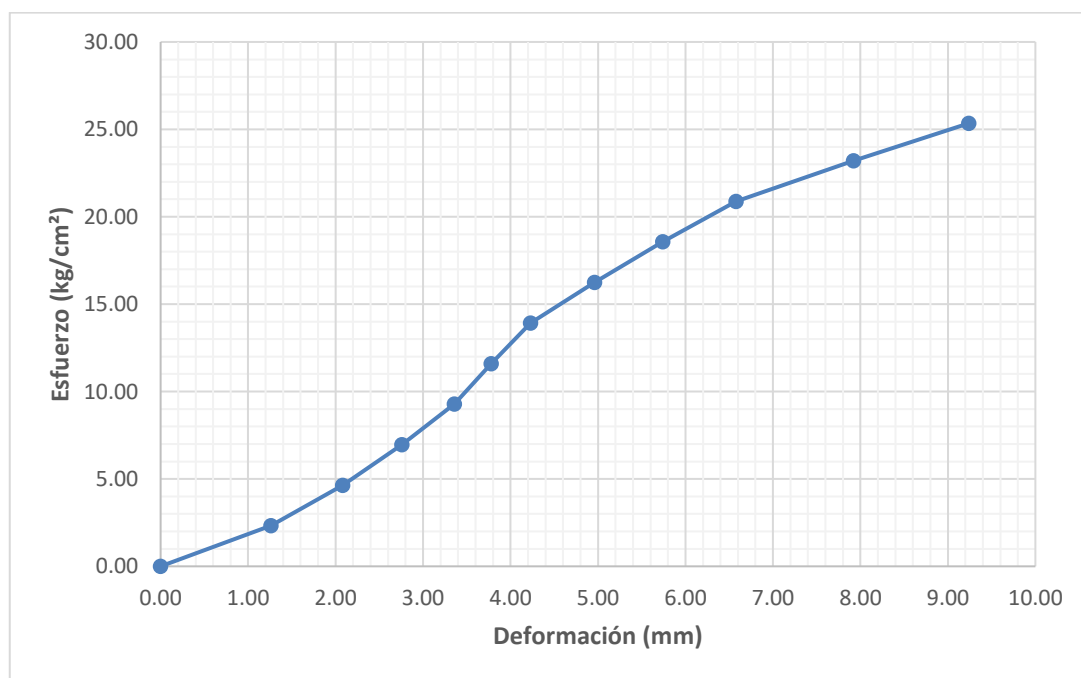


Figura 59. Esfuerzo vs deformación C-2, 4% fibras.

### Muestra C-3 – 4% Paja Toquilla

Tabla 74

*Dimensiones de la muestra C-3.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	13.50 cm	9.10 cm	202.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 75

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-3.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	2.90	14.81
500	0.62	2.47	3500	3.44	17.28
1000	1.18	4.94	4000	4.31	19.75
1500	1.71	7.41	4500	5.43	22.22
2000	2.12	9.88	4970	7.43	24.54
2500	2.50	12.35			

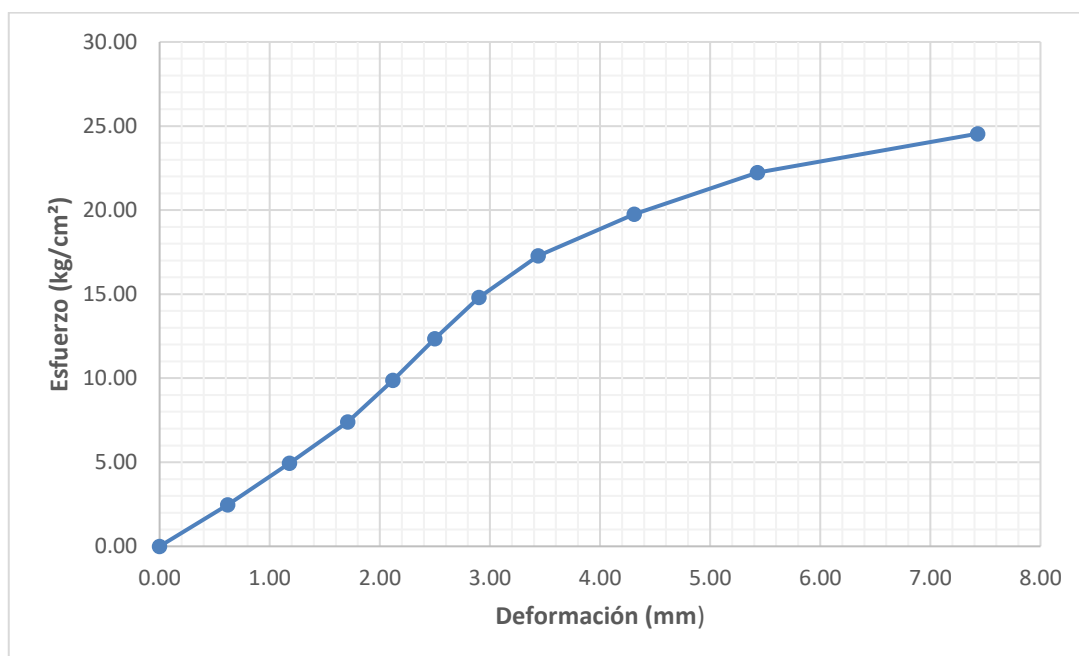


Figura 60. Esfuerzo vs deformación C-3, 4% fibras.

### Muestra C-4 – 4% Paja Toquilla

Tabla 76

*Dimensiones de la muestra C-4.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.70 cm	14.60 cm	9.60 cm	214.62 cm <sup>2</sup>

Tabla 77

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-4.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	4.34	16.31
500	1.31	2.33	4000	4.70	18.64
1000	1.88	4.66	4500	5.08	20.97
1500	2.53	6.99	5000	5.67	23.30
2000	2.98	9.32	5500	6.27	25.63
2500	3.49	11.65	6000	7.18	27.96
3000	3.92	13.98	6262	9.38	29.18

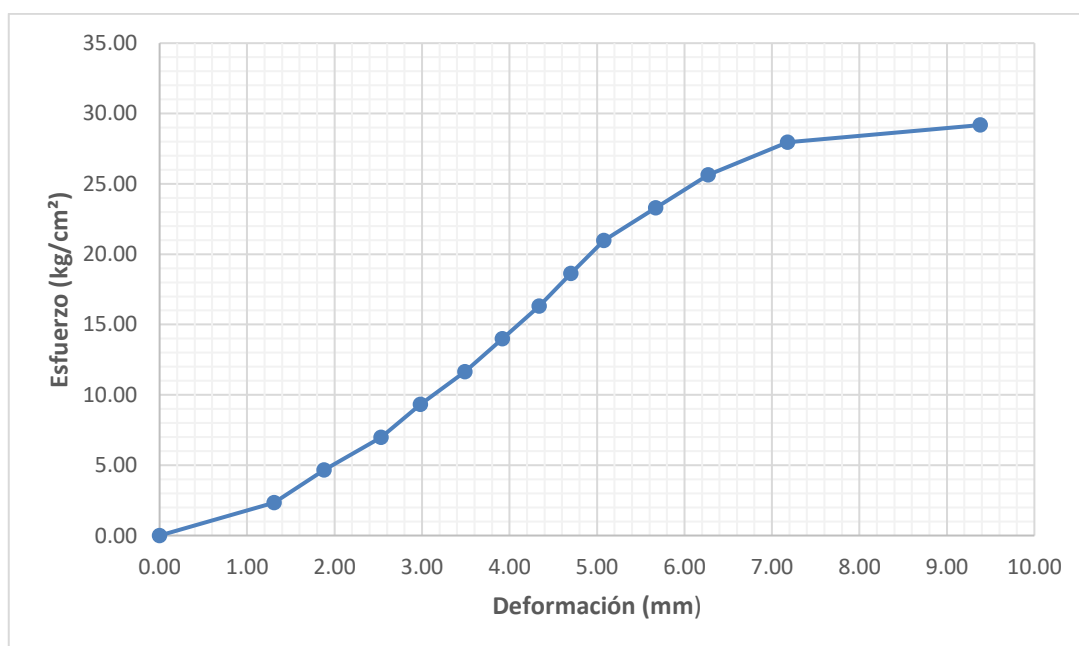


Figura 61. Esfuerzo vs deformación C-4, 4% fibras.

**Muestra C-5 – 4% Paja Toquilla**

Tabla 78

*Dimensiones de la muestra C-5.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.50 cm	13.50 cm	9.80 cm	195.75 cm <sup>2</sup>

Tabla 79

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-5.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	3.34	15.33
500	1.01	2.55	3500	3.82	17.88
1000	1.73	5.11	4000	4.34	20.43
1500	2.20	7.66	4500	5.11	22.99
2000	2.57	10.22	5000	6.30	25.54
2500	2.99	12.77	5227	8.01	29.70

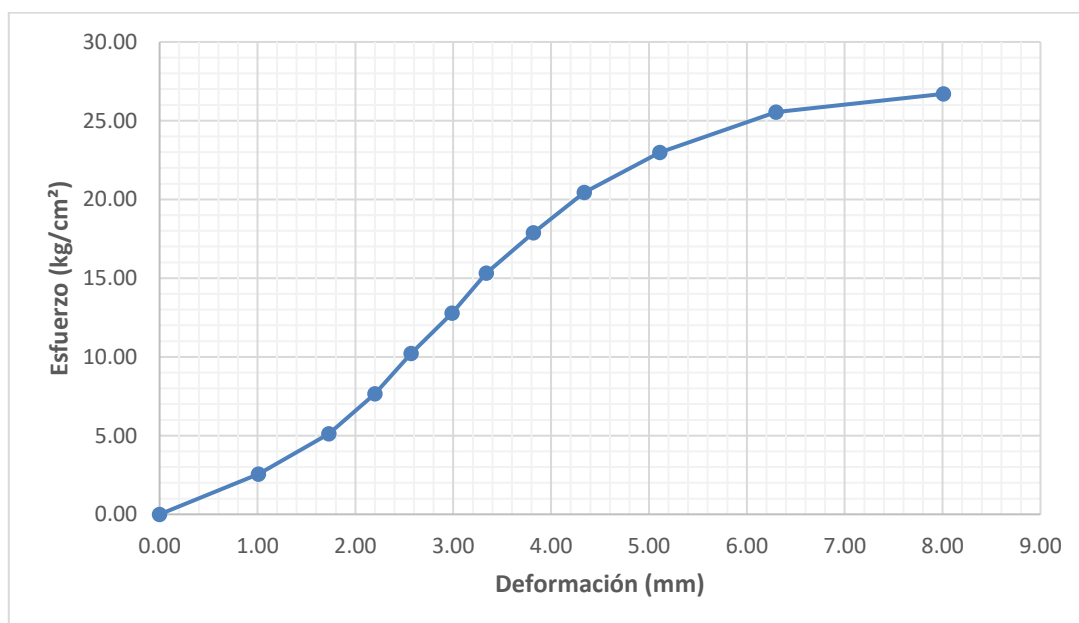


Figura 62. Esfuerzo vs deformación C-5, 4% fibras.

**Muestra C-6 – 4% Paja Toquilla**

Tabla 80

*Dimensiones de la muestra C-6.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.80 cm	13.70 cm	10.20 cm	202.76 cm <sup>2</sup>

Tabla 81

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-6.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	2.46	12.33
500	0.51	2.47	3000	2.90	14.80
1000	1.08	4.93	3500	3.55	17.26
1500	1.54	7.40	4000	4.88	19.73
2000	2.02	9.86	4267	6.50	21.04

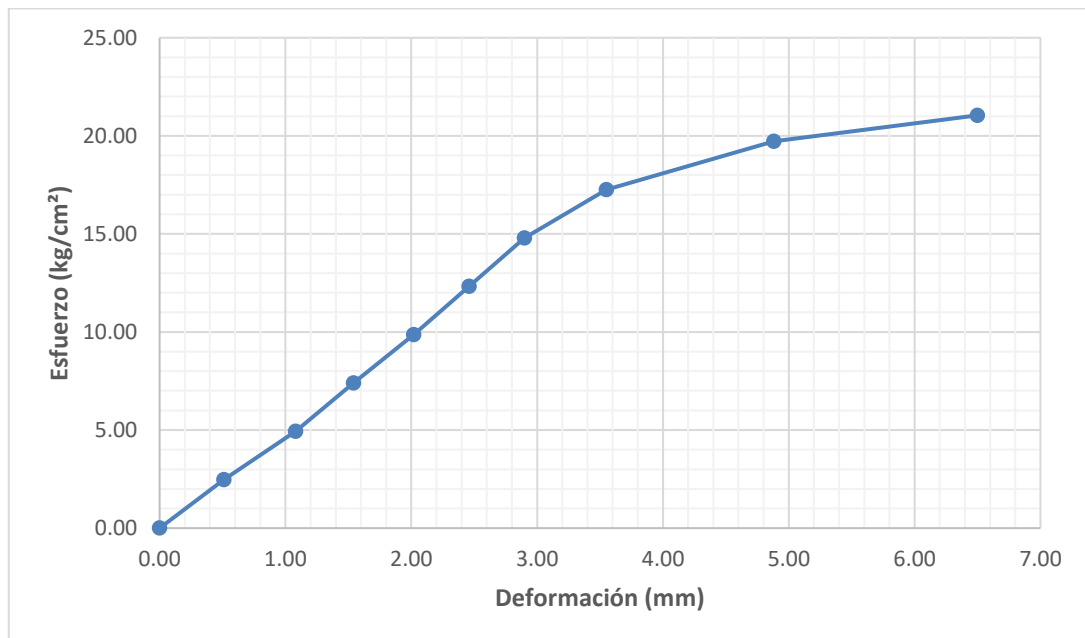


Figura 63. Esfuerzo vs deformación C-6, 4% fibras.



**Muestra C-7 – 4% Paja Toquilla**

Tabla 82

*Dimensiones de la muestra C-7.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.20 cm	14.60 cm	9.70 cm	221.92 cm <sup>2</sup>

Tabla 83

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-7.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	6.63	13.52
500	2.95	2.25	3500	7.13	15.77
1000	3.69	4.51	4000	7.82	18.02
1500	4.21	6.76	4500	8.87	20.28
2000	4.73	9.01	5000	10.16	22.53
2500	5.16	11.27	5028	11.32	22.66

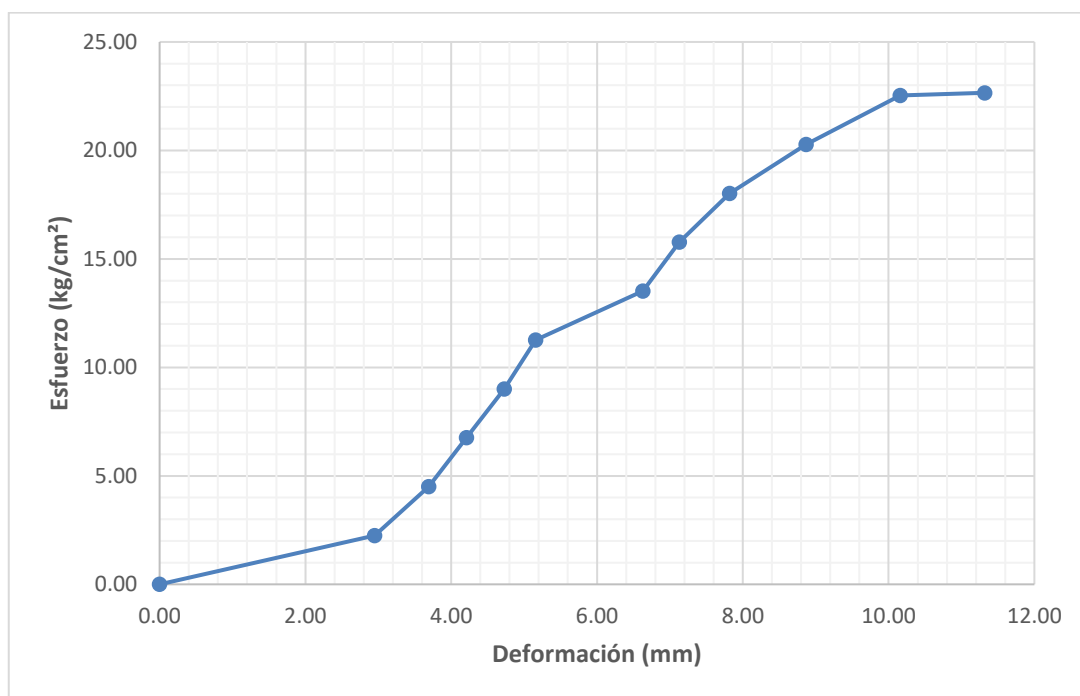


Figura 64. Esfuerzo vs deformación C-7, 4% fibras.

**Muestra C-8 – 4% Paja Toquilla**

Tabla 84

*Dimensiones de la muestra C-8.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.60 cm	10.20 cm	219.00 cm <sup>2</sup>

Tabla 85

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra C-8.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	3.30	13.70
500	0.66	2.28	3500	3.72	15.98
1000	1.35	4.57	4000	4.19	18.26
1500	1.97	6.85	4500	4.74	20.55
2000	2.41	9.13	5000	5.42	22.83
2500	2.89	11.42	5462	6.81	24.94

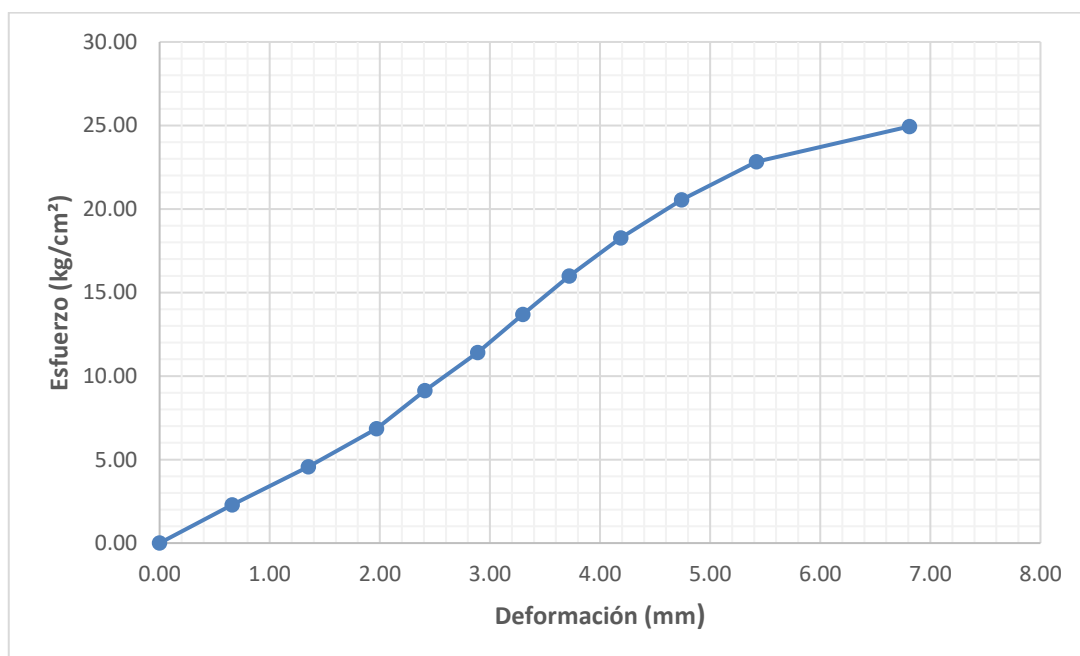


Figura 65. Esfuerzo vs deformación C-8, 4% fibras.

**Muestra D-1 – 6% Paja Toquilla**

Tabla 86

*Dimensiones de la muestra D-1.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.50 cm	9.70 cm	217.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 87

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-1.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	4000	3.73	18.39
500	0.91	2.30	4500	4.11	20.69
1000	1.69	4.60	5000	4.53	22.99
1500	2.11	6.90	5500	4.94	25.29
2000	2.52	9.20	6000	5.48	27.59
2500	2.83	11.49	6500	6.09	29.89
3000	3.10	13.79	7000	6.98	32.18
3500	3.52	16.09	7187	8.23	33.04

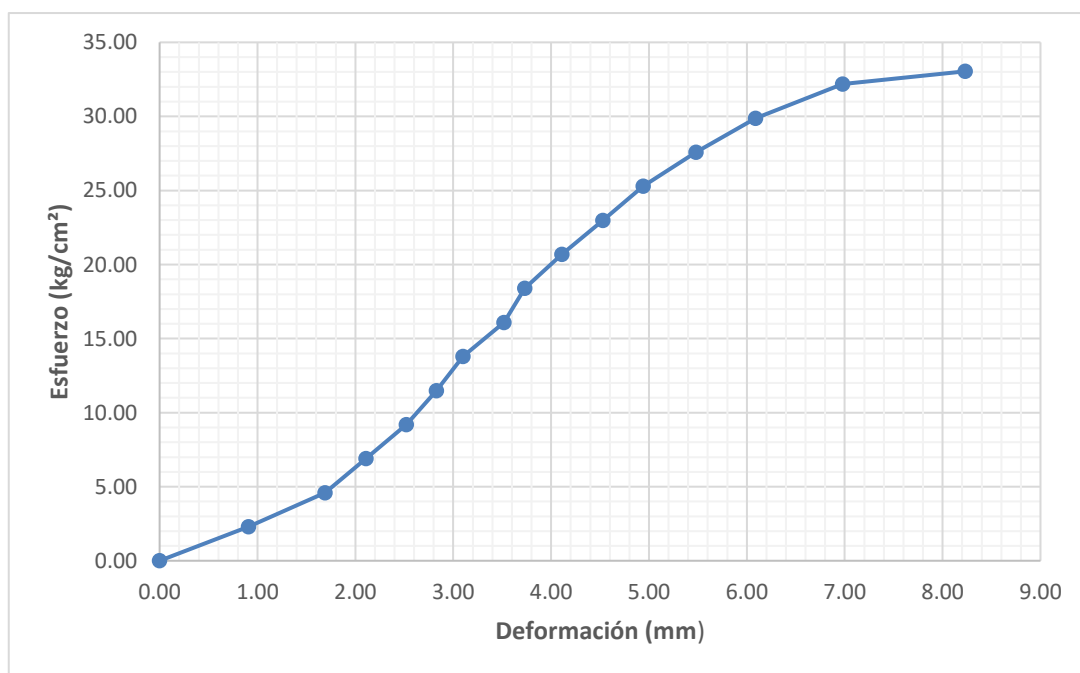


Figura 66. Esfuerzo vs deformación D-1, 6% fibras.

**Muestra D-2 – 6% Paja Toquilla**

Tabla 88

*Dimensiones de la muestra D-2.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.90 cm	14.20 cm	9.40 cm	211.58 cm <sup>2</sup>

Tabla 89

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-2.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	3.01	16.54
500	0.20	2.36	4000	3.58	18.91
1000	0.93	4.73	4500	4.35	21.27
1500	1.34	7.09	5000	5.27	23.63
2000	1.71	9.45	5500	6.13	25.99
2500	2.24	11.82	5992	7.05	28.32
3000	2.73	14.18			

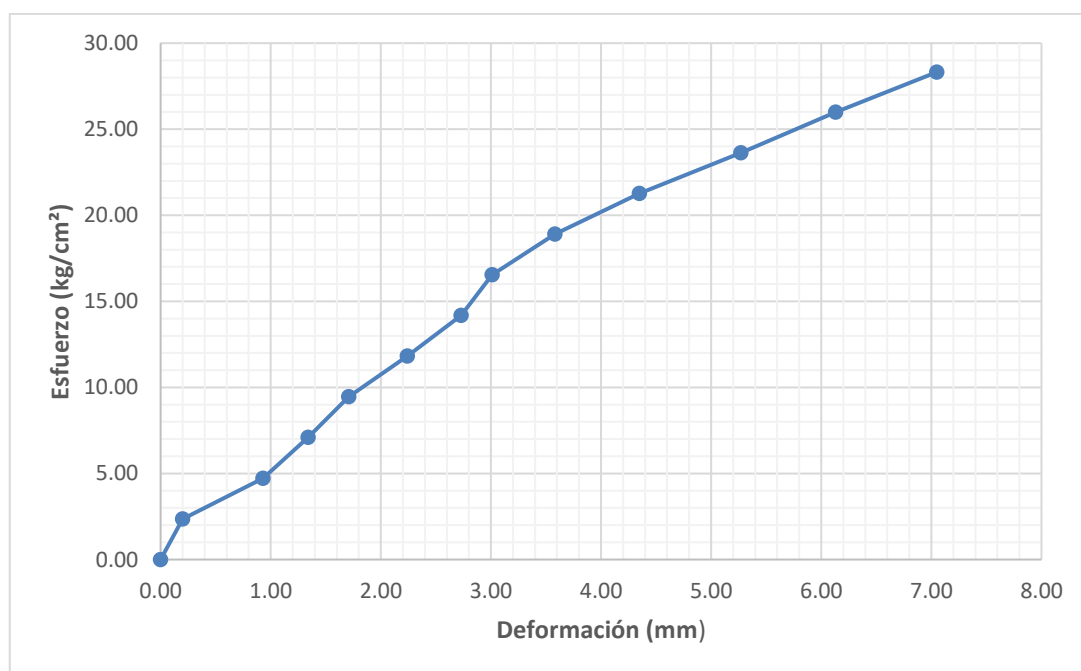


Figura 67. Esfuerzo vs deformación D-2, 6% fibras.

**Muestra D-3 – 6% Paja Toquilla**

Tabla 90

*Dimensiones de la muestra D-3.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.10 cm	9.20 cm	211.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 91

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-3.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	4.32	16.55
500	1.12	2.36	4000	5.03	18.91
1000	1.68	4.73	4500	5.61	21.28
1500	2.19	7.09	5000	6.43	23.64
2000	2.60	9.46	5500	7.38	26.00
2500	3.34	11.82	6000	8.68	28.37
3000	3.84	14.18	6393	9.42	30.23

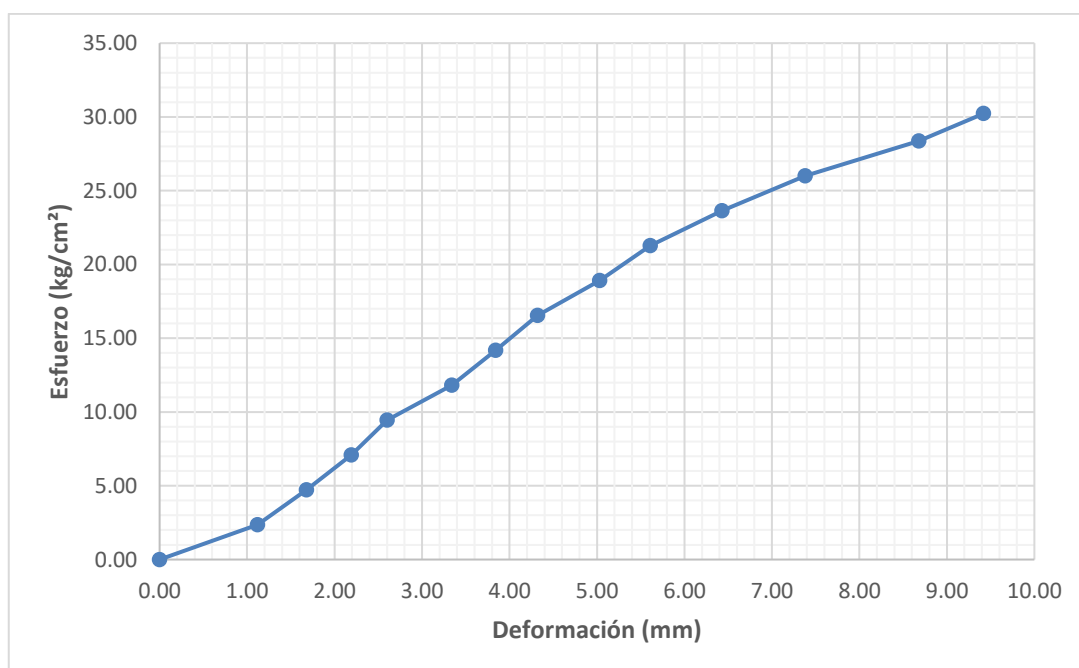


Figura 68. Esfuerzo vs deformación D-3, 6% fibras.

**Muestra D-4 – 6% Paja Toquilla**

Tabla 92

*Dimensiones de la muestra D-4.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.70 cm	10.40 cm	220.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 93

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-4.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	4.11	13.61
500	0.89	2.27	3500	4.61	15.87
1000	1.74	4.54	4000	5.74	18.14
1500	2.32	6.80	4500	7.69	20.41
2000	2.90	9.07	4661	8.50	21.14
2500	3.48	11.34			

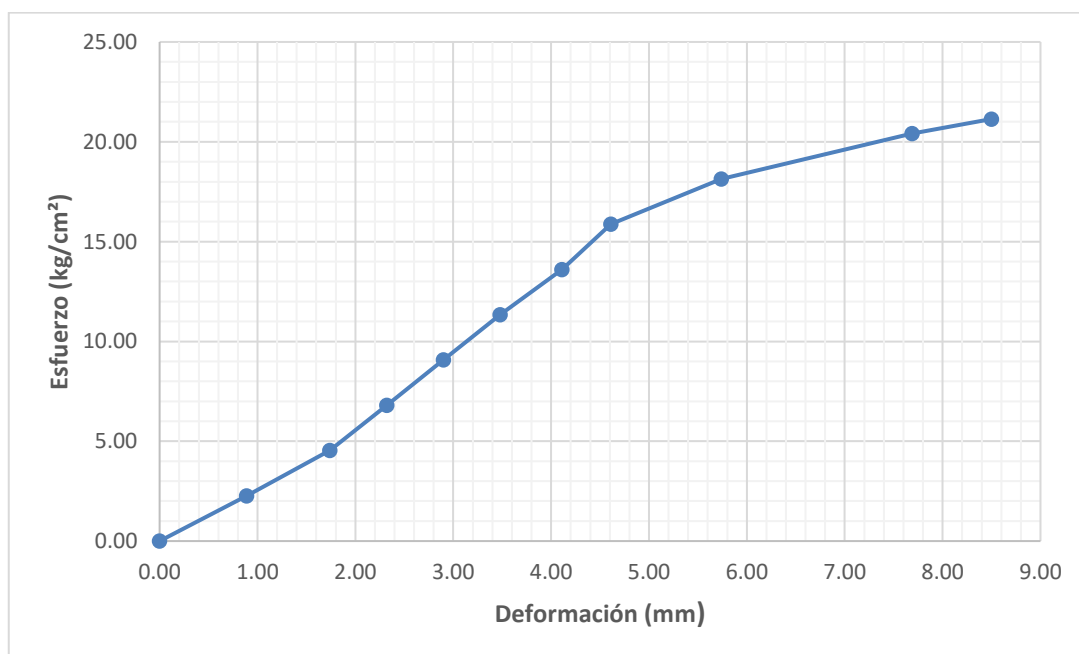


Figura 69. Esfuerzo vs deformación D-4, 6% fibras.

### Muestra D-5 – 6% Paja Toquilla

Tabla 94

*Dimensiones de la muestra D-5.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.20 cm	13.70 cm	10.00 cm	208.24 cm <sup>2</sup>

Tabla 95

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-5.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	2.07	16.81
500	0.41	2.40	4000	2.11	19.21
1000	0.72	4.80	4500	2.59	21.61
1500	1.11	7.20	5000	2.88	24.01
2000	1.33	9.60	5500	3.35	26.41
2500	1.52	12.01	5758	3.63	27.65
3000	1.82	14.41			

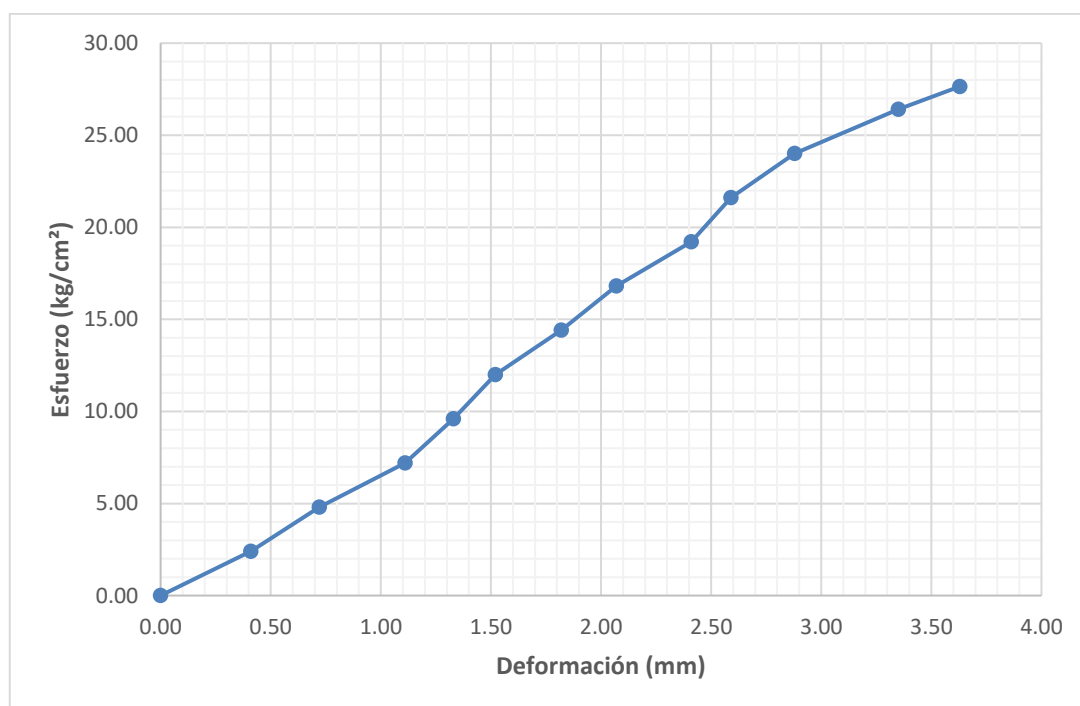


Figura 70. Esfuerzo vs deformación D-5, 6% fibras.

### Muestra D-6 – 6% Paja Toquilla

Tabla 96

*Dimensiones de la muestra D-6.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.10 cm	14.60 cm	9.20 cm	220.46 cm <sup>2</sup>

Tabla 97

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-6.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	3.84	15.88
500	0.47	2.27	4000	4.27	18.14
1000	1.34	4.54	4500	4.80	20.41
1500	1.92	6.80	5000	5.38	22.68
2000	2.44	9.07	5500	5.96	24.95
2500	2.94	11.34	6000	6.77	27.22
3000	3.36	13.61	6518	8.09	29.57

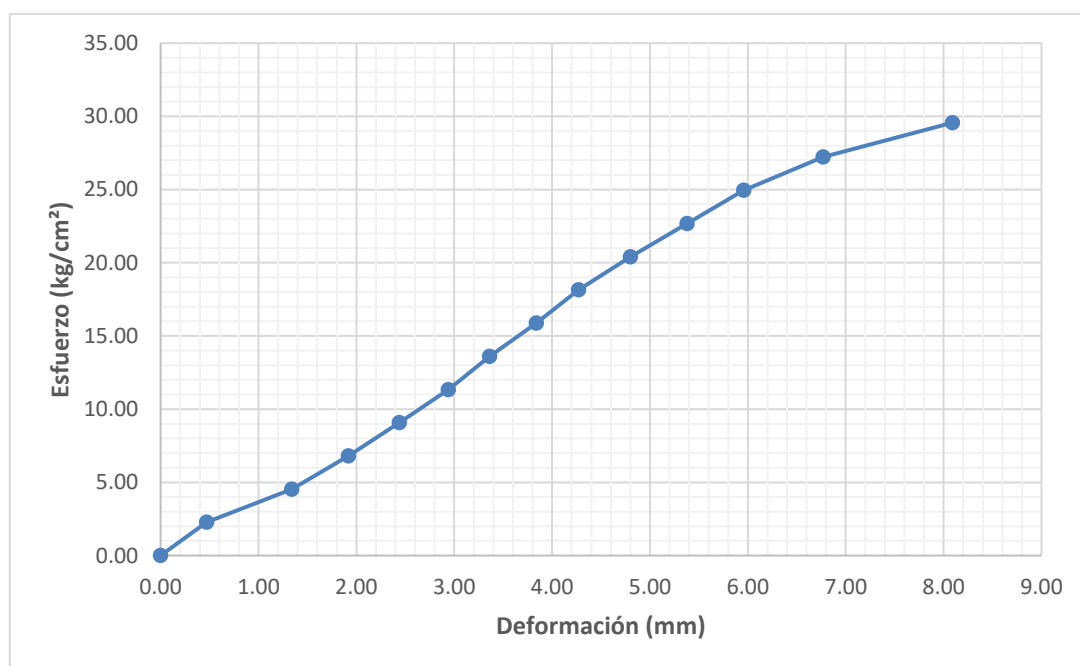


Figura 71. Esfuerzo vs deformación D-6, 6% fibras.



**Muestra D-7 – 6% Paja Toquilla**

Tabla 98

*Dimensiones de la muestra D-7.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.90 cm	13.00 cm	9.40 cm	207.11 cm <sup>2</sup>

Tabla 99

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-7.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	4000	4.14	19.31
500	0.72	2.41	4500	4.61	21.73
1000	1.46	4.83	5000	5.19	24.14
1500	2.06	7.24	5500	5.76	26.56
2000	2.51	9.66	6000	7.48	28.97
2500	3.01	12.07	6500	8.58	31.38
3000	3.34	14.49	6945	11.23	33.53
3500	3.74	16.90			

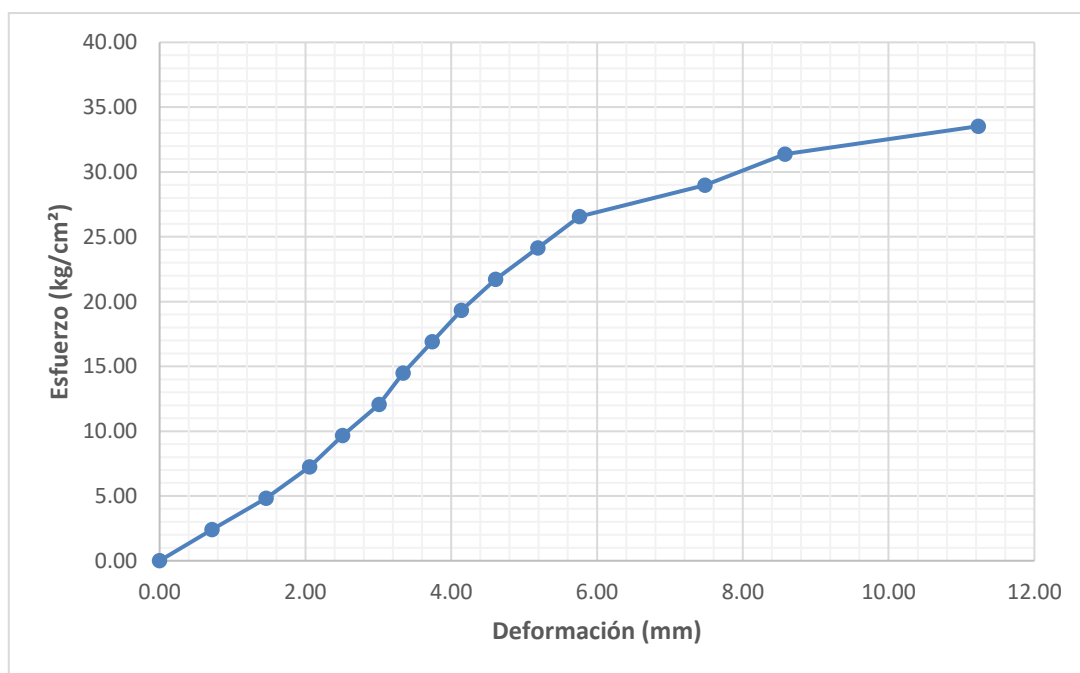


Figura 72. Esfuerzo vs deformación D-7, 6% fibras.

### Muestra D-8 – 6% Paja Toquilla

Tabla 100

*Dimensiones de la muestra D-8.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.90 cm	14.20 cm	9.70 cm	211.58 cm <sup>2</sup>

Tabla 101

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra D-8.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	3.73	16.54
500	0.84	2.36	4000	4.14	18.91
1000	1.42	4.73	4500	4.74	21.27
1500	1.87	7.09	5000	5.56	23.63
2000	2.32	9.45	5500	6.38	25.99
2500	2.88	11.82	6000	7.52	28.36
3000	3.32	14.18	6273	8.24	29.65

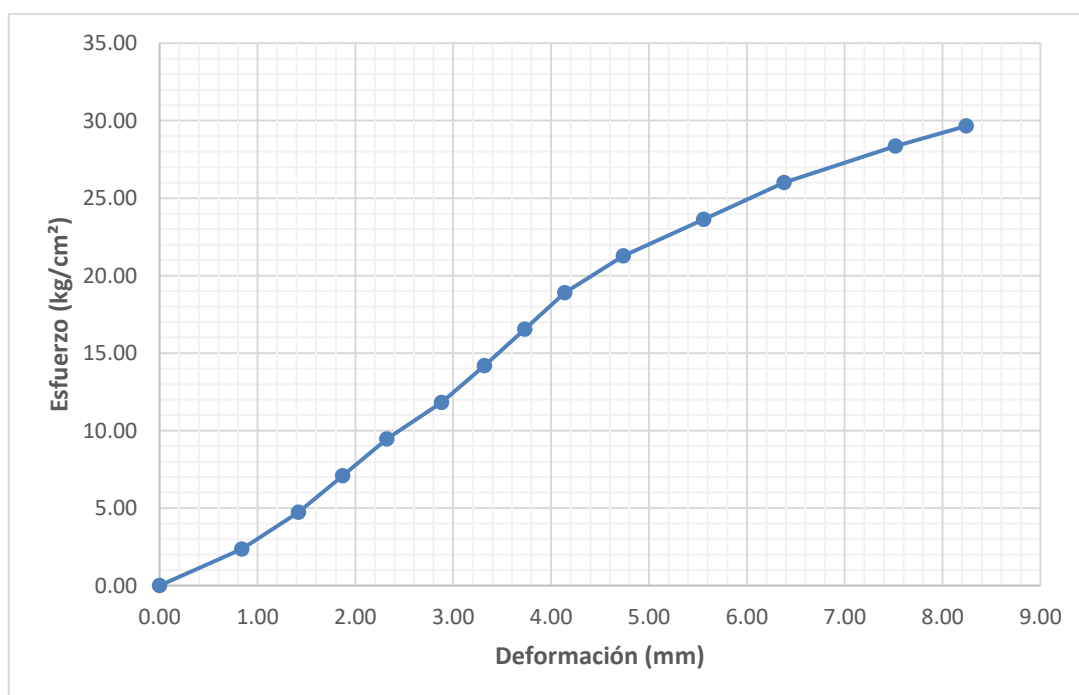


Figura 73. Esfuerzo vs deformación D-8, 6% fibras.

**Muestra E-1 – 4% Paja Ichu**

Tabla 102

*Dimensiones de la muestra E-1.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.40 cm	9.70 cm	216.00 cm <sup>2</sup>

Tabla 103

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-1.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	4000	4.62	18.52
500	1.84	2.31	4500	5.04	20.83
1000	2.51	4.63	5000	5.46	23.15
1500	2.87	6.94	5500	5.93	25.46
2000	3.29	9.26	6000	6.52	27.78
2500	3.60	11.57	6500	7.22	30.09
3000	3.91	13.89	6912	8.58	32.00
3500	4.27	16.20			

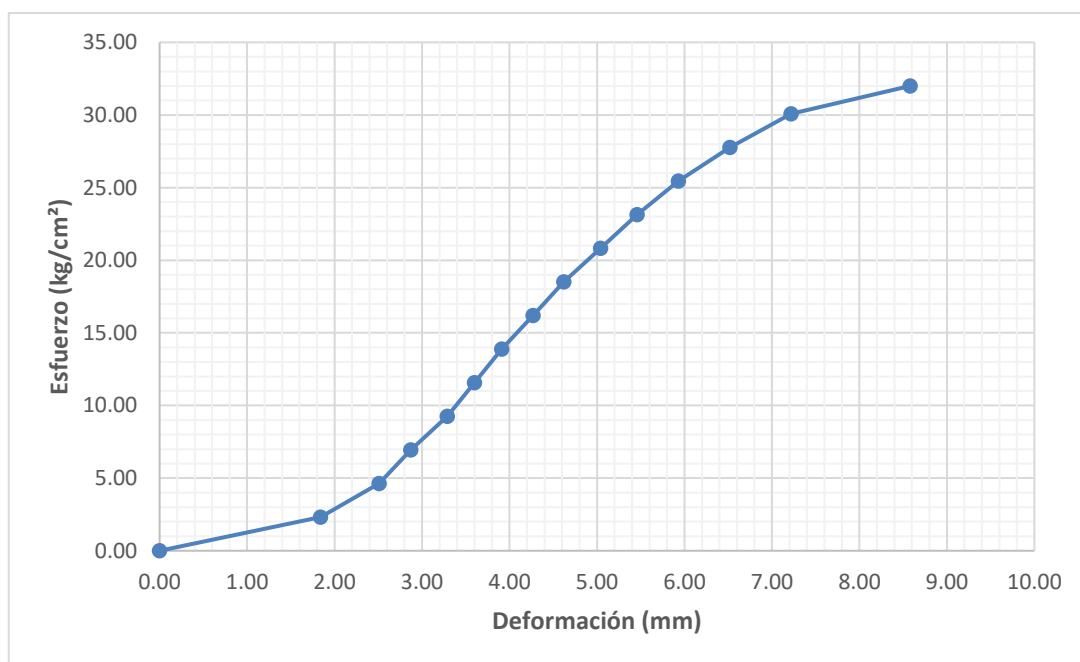


Figura 74. Esfuerzo vs deformación E-1, 6% fibras.

**Muestra E-2 – 4% Paja Ichu**

Tabla 104

*Dimensiones de la muestra E-2.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.20 cm	13.90 cm	10.60 cm	211.28 cm <sup>2</sup>

Tabla 105

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-2.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	2.96	16.57
500	0.44	2.37	4000	3.61	18.93
1000	0.58	4.73	4500	4.09	21.30
1500	0.82	7.10	5000	4.92	23.67
2000	1.43	9.47	5500	5.90	26.03
2500	1.89	11.83	6000	7.14	28.40
3000	2.48	14.20	6220	9.05	29.44

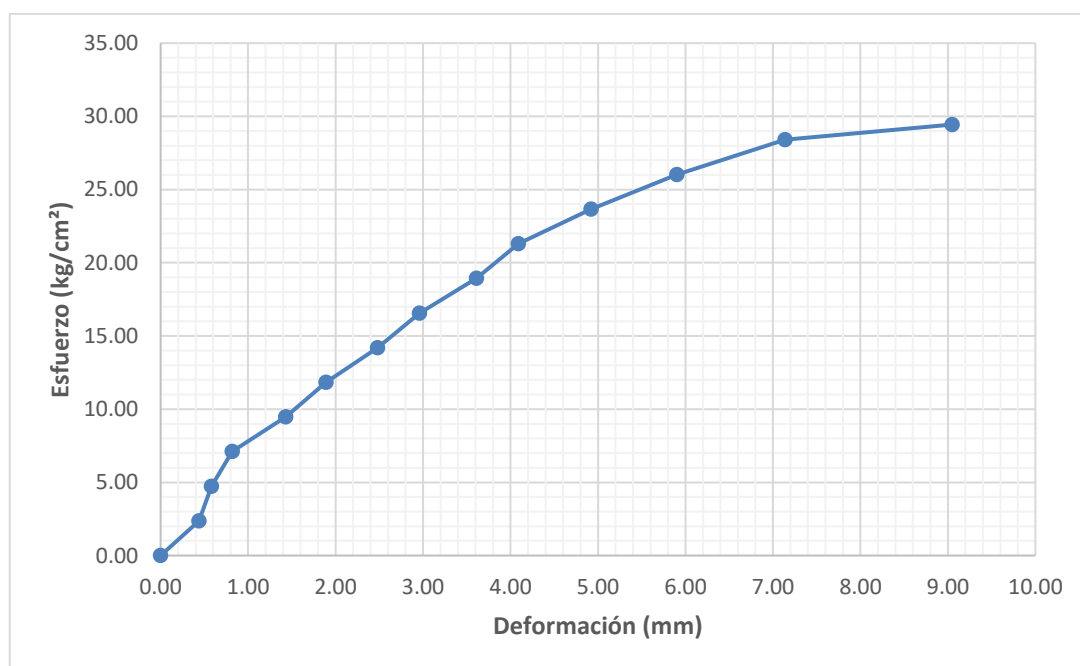


Figura 75. Esfuerzo vs deformación E-2, 4% fibras.

**Muestra E-3 – 4% Paja Ichu**

Tabla 106

*Dimensiones de la muestra E-3.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.10 cm	14.10 cm	10.60 cm	212.91 cm <sup>2</sup>

Tabla 107

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-3.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	4.08	16.44
500	1.04	2.35	4000	4.57	18.79
1000	1.73	4.70	4500	5.16	21.14
1500	2.28	7.05	5000	6.08	23.48
2000	2.72	9.39	5500	7.17	25.83
2500	3.24	11.74	5921	9.63	27.81
3000	3.62	14.09			

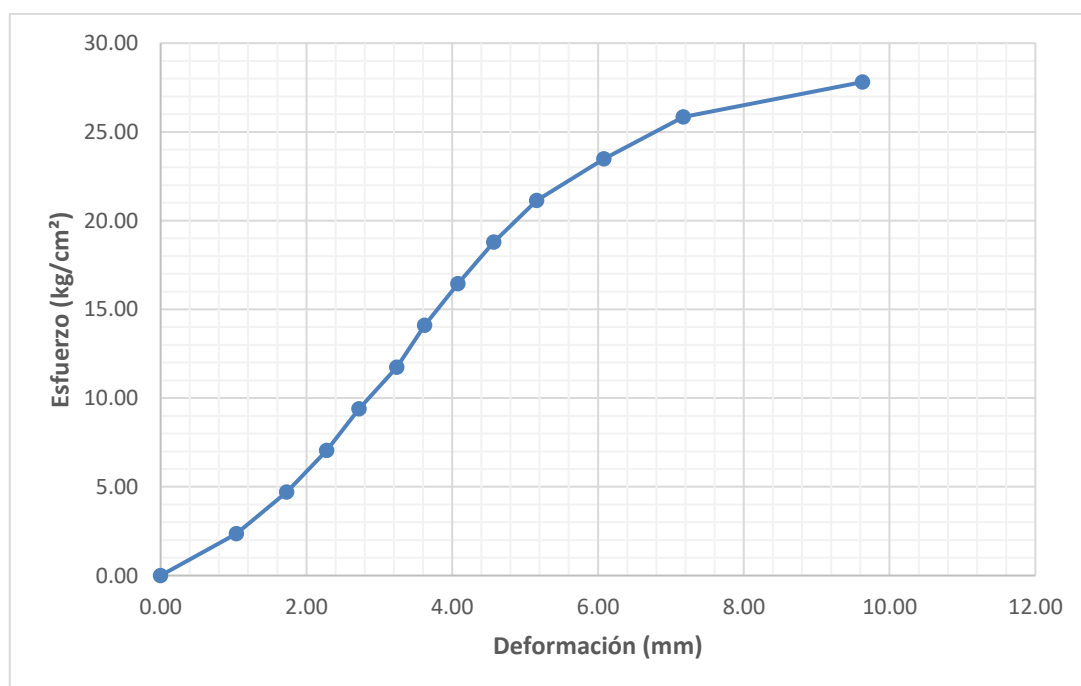


Figura 76. Esfuerzo vs deformación E-3, 4% fibras.

**Muestra E-4 – 4% Paja Ichu**

Tabla 108

*Dimensiones de la muestra E-4.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.20 cm	13.80 cm	8.50 cm	209.76 cm <sup>2</sup>

Tabla 109

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-4.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	2.16	16.69
500	0.36	2.38	4000	2.31	19.07
1000	0.68	4.77	4500	2.53	21.45
1500	1.12	7.15	5000	3.06	23.84
2000	1.36	9.53	5500	3.80	26.22
2500	1.72	11.92	6000	4.68	28.60
3000	1.92	14.30	6124	5.06	29.20

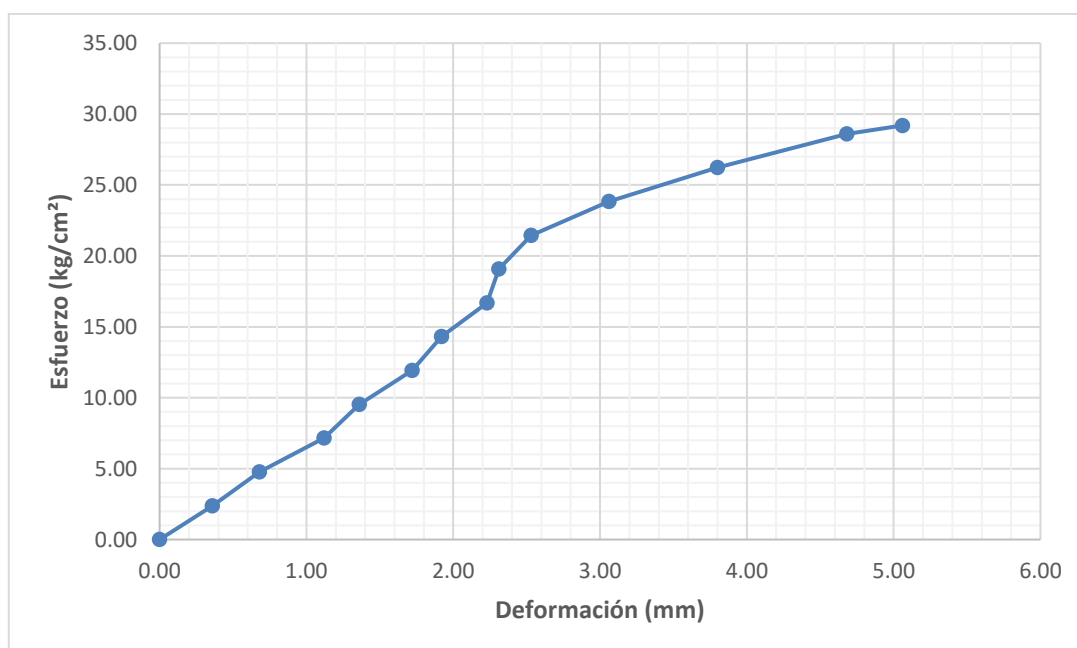


Figura 77. Esfuerzo vs deformación E-4, 4% fibras.

**Muestra E-5 – 4% Paja Ichu**

Tabla 110

*Dimensiones de la muestra E-5.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	13.60 cm	10.00 cm	204.00 cm <sup>2</sup>

Tabla 111

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-5.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	3.07	14.71
500	1.09	2.45	3500	3.46	17.16
1000	1.52	4.90	4000	3.97	19.61
1500	1.94	7.35	4500	4.64	22.06
2000	2.29	9.80	5000	5.74	24.51
2500	2.71	12.25	5402	7.16	26.48

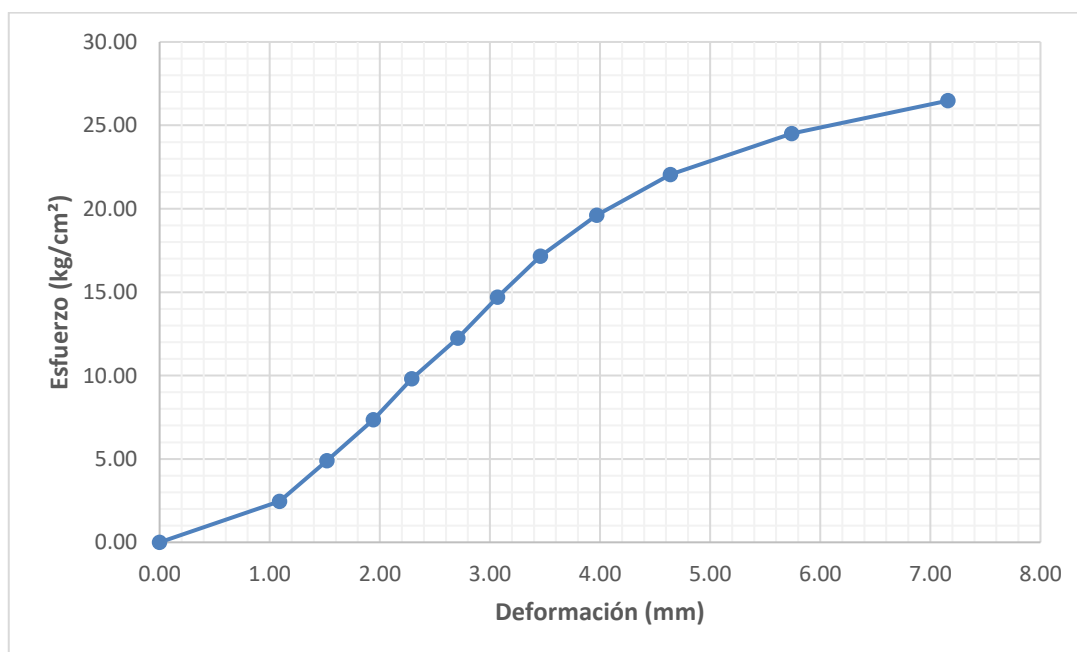


Figura 78. Esfuerzo vs deformación E-5, 4% fibras.

**Muestra E-6 – 4% Paja Ichu**

Tabla 112

*Dimensiones de la muestra E-6.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.30 cm	9.60 cm	214.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 113

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-6.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	2.91	16.32
500	0.47	2.33	4000	3.35	18.65
1000	1.06	4.66	4500	3.92	20.98
1500	1.58	6.99	5000	4.57	23.31
2000	1.83	9.32	5500	5.61	25.64
2500	2.22	11.66	5726	6.63	26.69
3000	2.52	13.99			

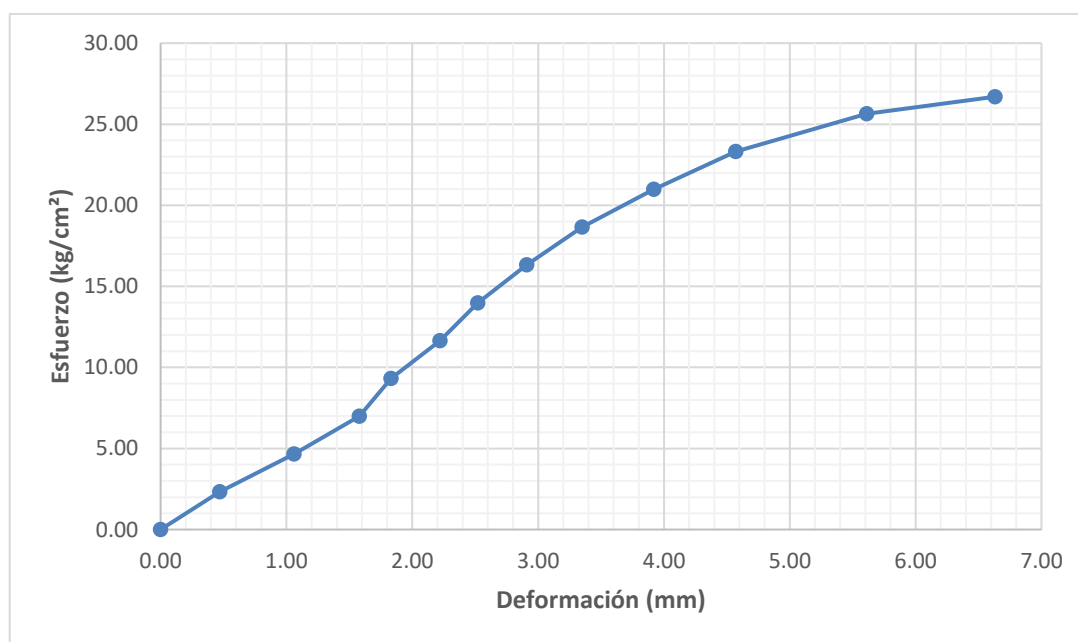


Figura 79. Esfuerzo vs deformación E-6, 4% fibras.



**Muestra E-7 – 4% Paja Ichu**

Tabla 114

*Dimensiones de la muestra E-7.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.10 cm	14.50 cm	9.70 cm	218.95 cm <sup>2</sup>

Tabla 115

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-7.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	3.39	15.99
500	0.28	2.28	4000	3.95	18.27
1000	1.24	4.57	4500	4.58	20.55
1500	1.84	6.85	5000	5.84	22.84
2000	2.03	9.13	5500	6.38	25.12
2500	2.42	11.42	5717	7.41	26.11
3000	2.88	13.70			

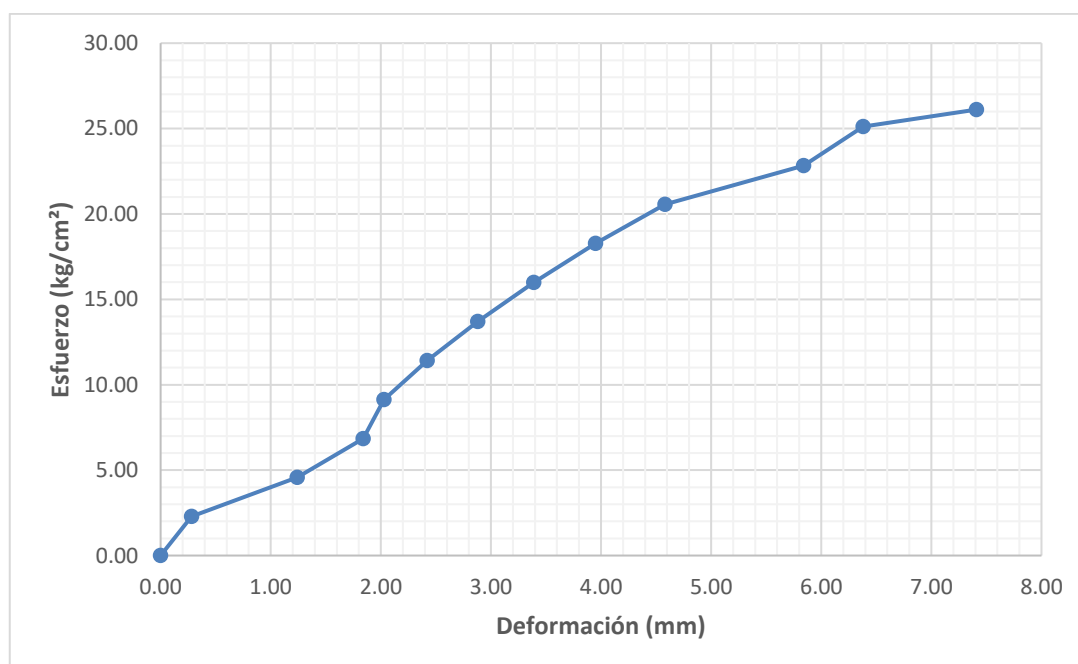


Figura 80. Esfuerzo vs deformación E-7, 4% fibras.

**Muestra E-8 – 4% Paja Ichu**

Tabla 116

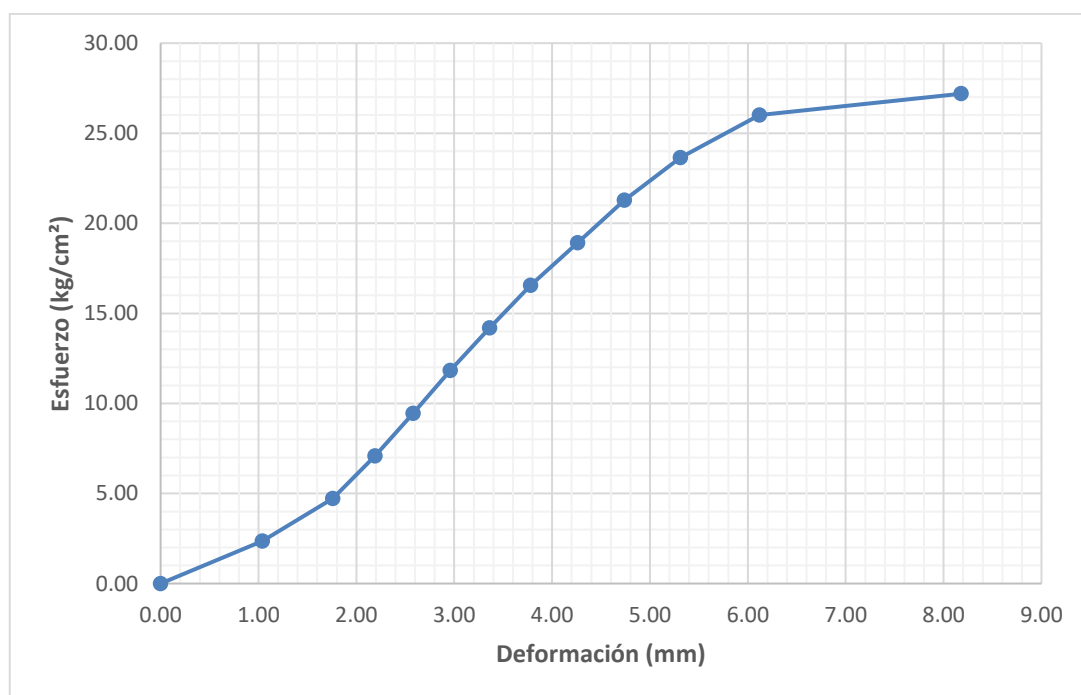
*Dimensiones de la muestra E-8.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.10 cm	10.10 cm	211.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 117

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra E-8.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	3.78	16.55
500	1.04	2.36	4000	4.26	18.91
1000	1.76	4.73	4500	4.74	21.28
1500	2.19	7.09	5000	5.31	23.64
2000	2.58	9.46	5500	6.12	26.00
2500	2.96	11.82	5751	8.18	27.19
3000	3.36	14.18			



*Figura 81. Esfuerzo vs deformación E-8, 4% fibras.*

**Muestra F-1 – 8% Paja Ichu**

Tabla 118

*Dimensiones de la muestra F-1.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.70 cm	14.10 cm	10.70 cm	207.27 cm <sup>2</sup>

Tabla 119

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-1.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	6.67	14.47
500	2.35	2.41	3500	7.14	16.89
1000	3.36	4.82	4000	7.68	19.30
1500	4.27	7.24	4500	8.78	21.71
2000	5.13	9.65	4927	9.81	23.17
2500	5.65	12.06			

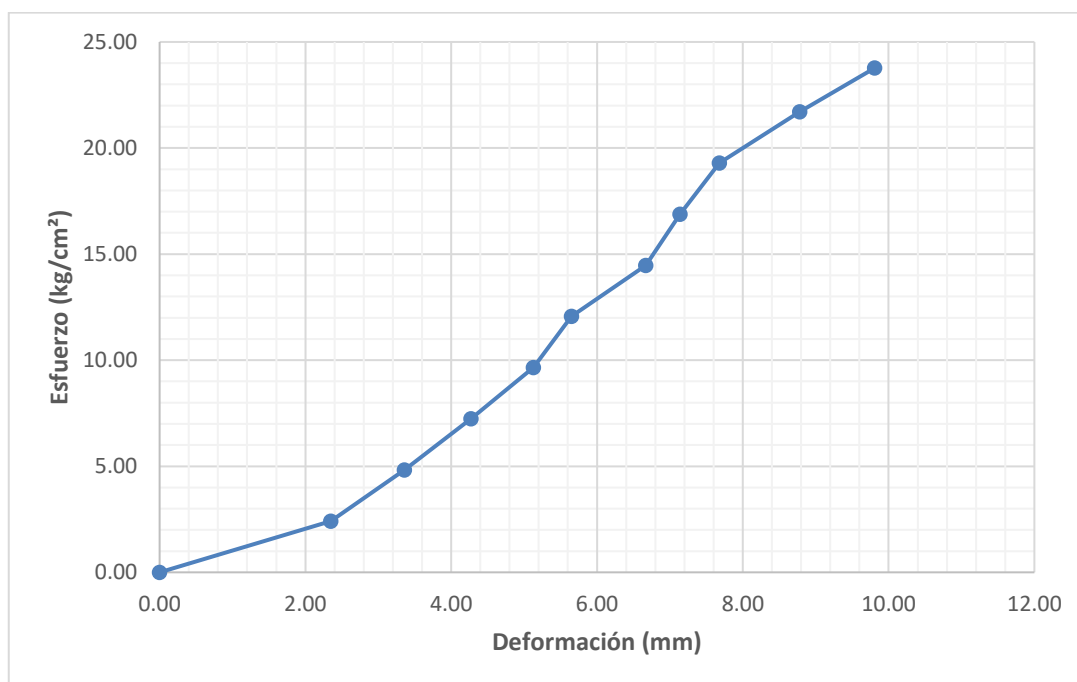


Figura 82. Esfuerzo vs deformación F-1, 8% fibras.

**Muestra F-2 – 8% Paja Ichu**

Tabla 120

*Dimensiones de la muestra F-2.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.30 cm	14.10 cm	10.10 cm	201.63 cm <sup>2</sup>

Tabla 121

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-2.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	4.91	14.88
500	1.83	2.48	3500	5.30	17.36
1000	2.60	4.96	4000	5.87	19.84
1500	3.31	7.44	4500	6.70	22.32
2000	3.88	9.92	5000	7.42	24.84
2500	4.37	12.40	5330	8.63	26.43

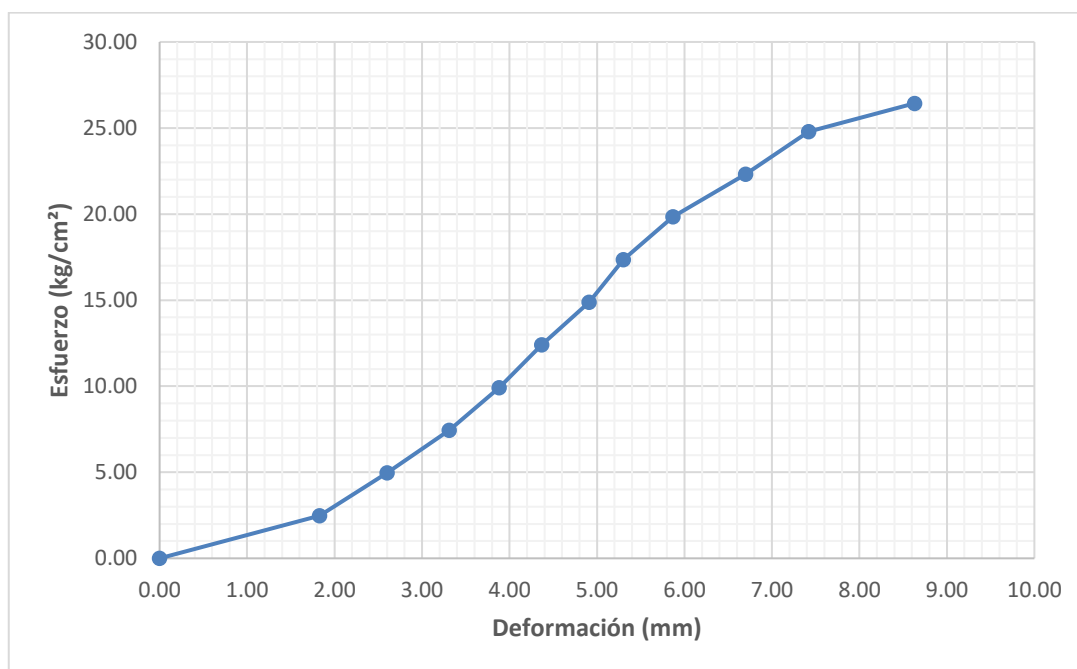


Figura 83. Esfuerzo vs deformación F-2, 8% fibras.

**Muestra F-3 – 8% Paja Ichu**

Tabla 122

*Dimensiones de la muestra F-3.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.80 cm	14.60 cm	9.80 cm	216.08 cm <sup>2</sup>

Tabla 123

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-3.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	4.05	13.88
500	1.37	2.31	3500	4.66	16.20
1000	2.08	4.63	4000	5.17	18.51
1500	2.61	6.94	4500	6.13	20.83
2000	3.12	9.26	5000	6.98	23.14
2500	3.58	11.57	5030	7.52	23.28

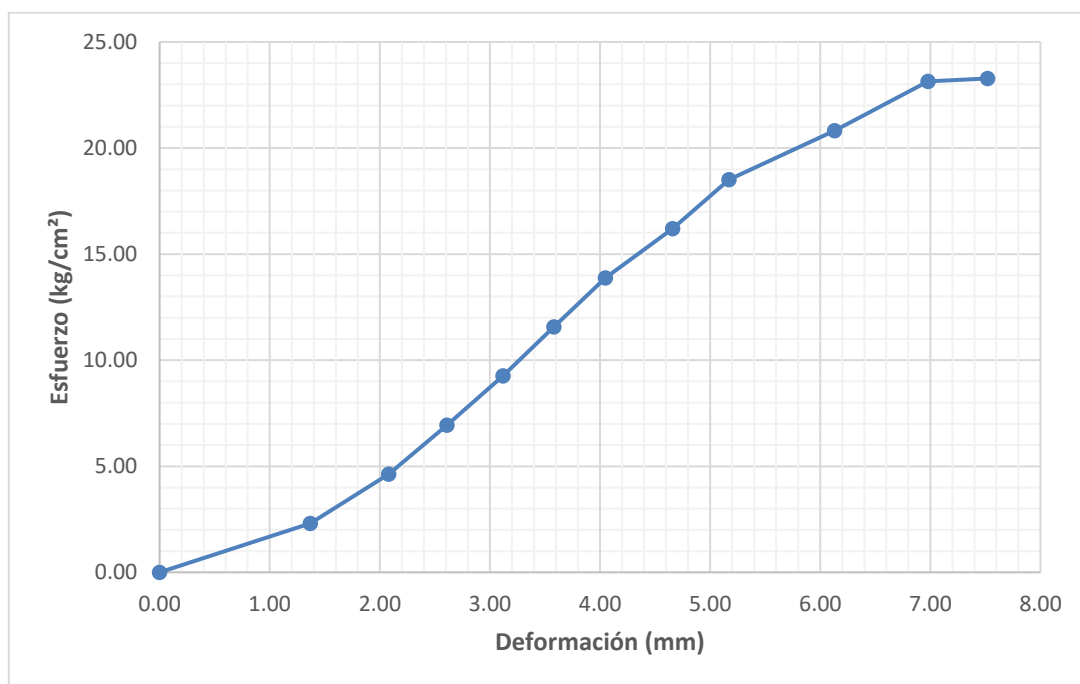


Figura 84. Esfuerzo vs deformación F-3, 8% fibras.

**Muestra F-4 – 8% Paja Ichu**

Tabla 124

*Dimensiones de la muestra F-4.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.30 cm	14.30 cm	10.00 cm	218.79 cm <sup>2</sup>

Tabla 125

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-4.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	3.72	11.43
500	1.18	2.29	3000	4.54	13.71
1000	1.81	4.57	3500	5.89	16.00
1500	2.36	6.86	4000	6.74	18.28
2000	3.06	9.14	4432	8.35	20.26

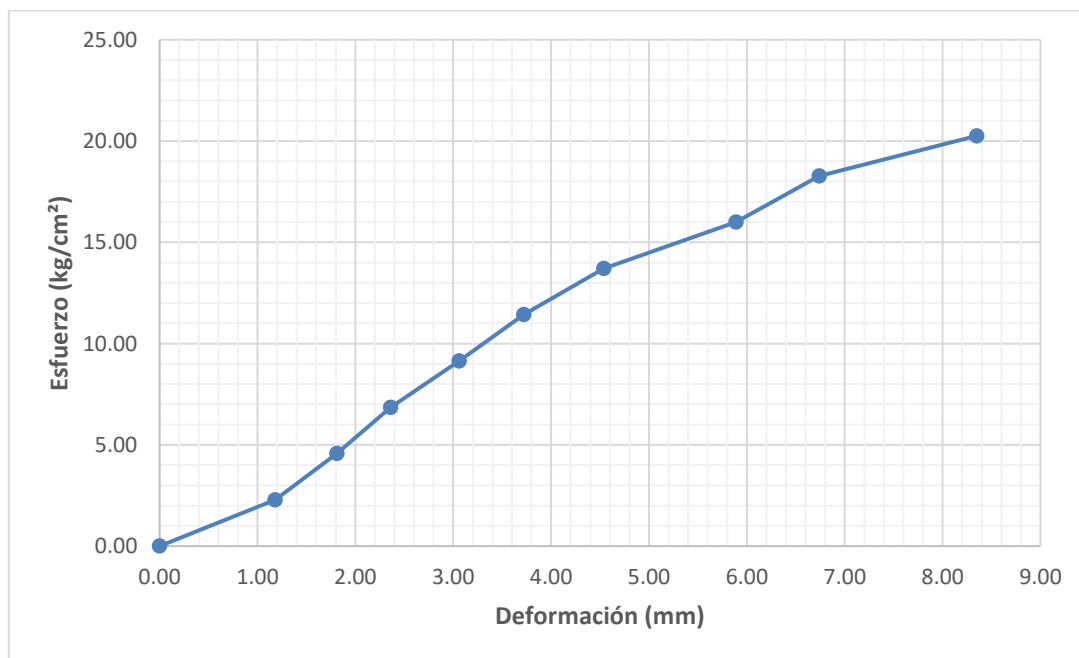


Figura 85. Esfuerzo vs deformación F-4, 8% fibras.

**Muestra F-5 – 8% Paja Ichu**

Tabla 126

*Dimensiones de la muestra F-5.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.40 cm	14.50 cm	10.20 cm	223.30 cm <sup>2</sup>

Tabla 127

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-5.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	3.94	13.43
500	1.13	2.24	3500	4.43	15.67
1000	1.93	4.48	4000	5.24	17.91
1500	2.46	6.72	4500	6.43	20.15
2000	2.88	8.96	5000	7.68	22.39
2500	3.46	11.20	5148	9.24	23.05

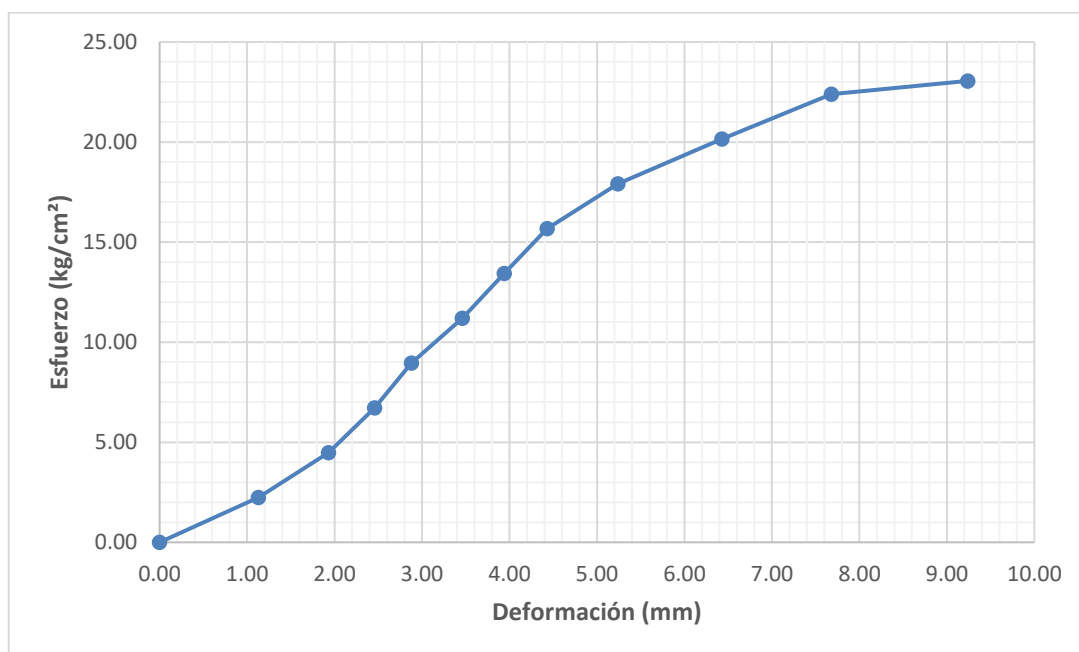


Figura 86. Esfuerzo vs deformación F-5, 8% fibras.

**Muestra F-6 – 8% Paja Ichu**

Tabla 128

*Dimensiones de la muestra F-6.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.20 cm	14.60 cm	10.10 cm	221.92 cm <sup>2</sup>

Tabla 129

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-6.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3500	4.81	15.77
500	1.38	2.25	4000	5.23	18.02
1000	2.12	4.51	4500	5.61	20.28
1500	2.80	6.76	5000	6.39	22.53
2000	3.30	9.01	5500	7.12	24.78
2500	3.91	11.27	5728	7.96	25.81
3000	4.35	13.52			

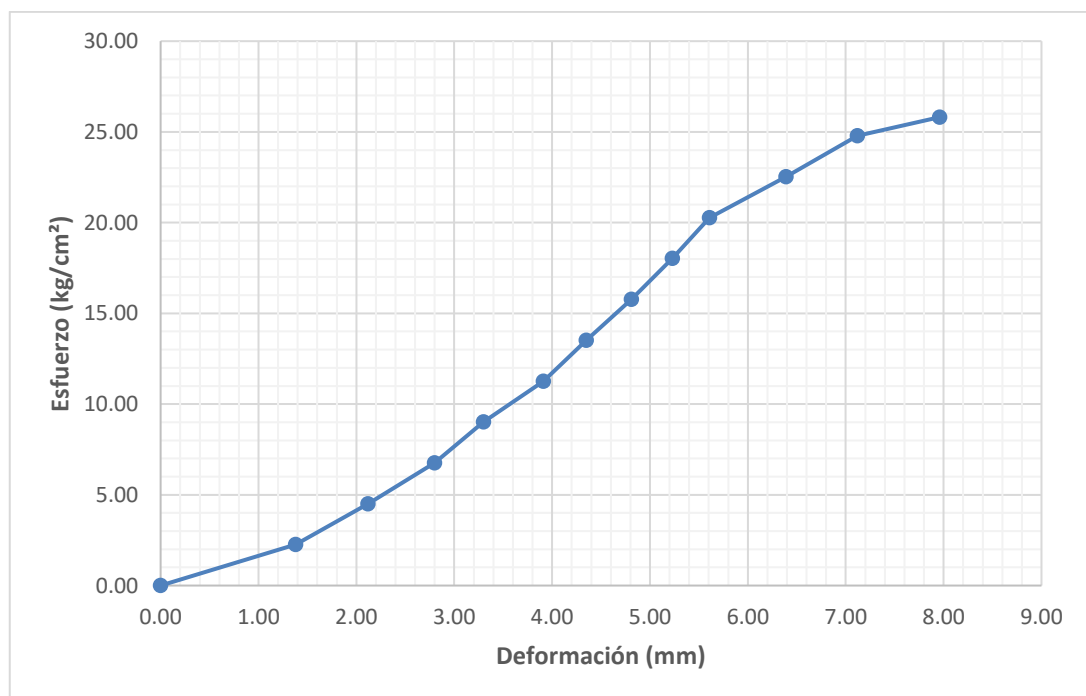


Figura 87. Esfuerzo vs deformación F-6, 8% fibras.



**Muestra F-7 – 8% Paja Ichu**

Tabla 130

*Dimensiones de la muestra F-7.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.20 cm	14.50 cm	10.10 cm	220.40 cm <sup>2</sup>

Tabla 131

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-7.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	5.96	13.61
500	1.74	2.27	3500	6.63	15.88
1000	2.73	4.54	4000	7.27	18.15
1500	3.73	6.81	4500	8.24	20.42
2000	4.39	9.07	5000	9.44	22.69
2500	4.92	11.34	5362	10.52	24.33

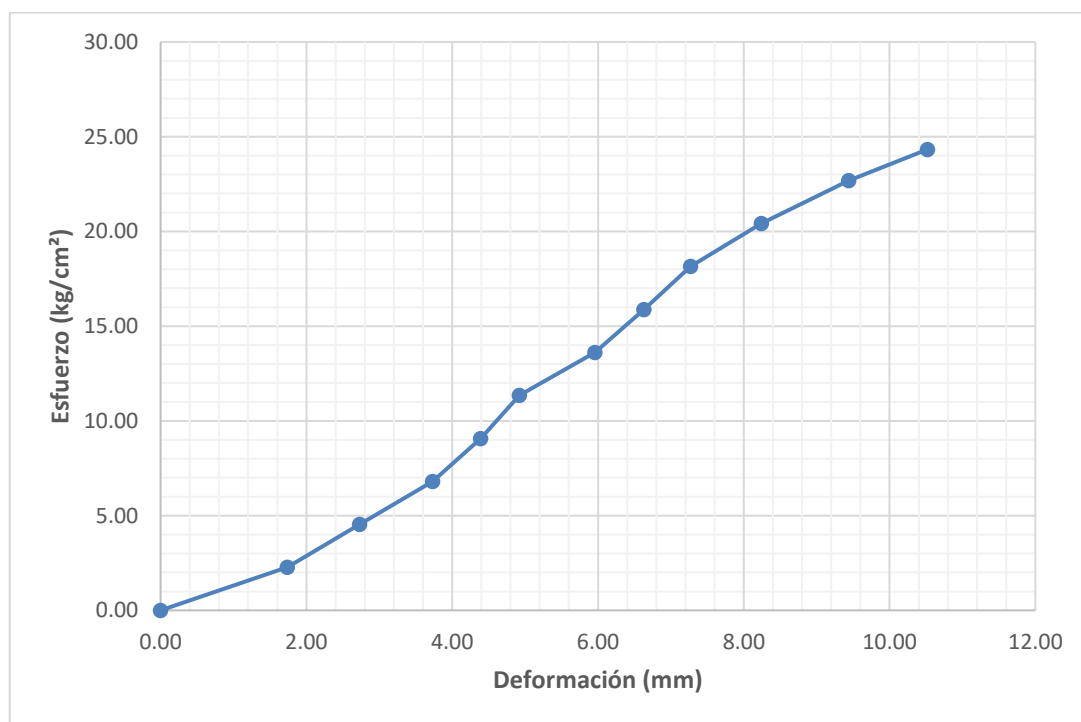


Figura 88. Esfuerzo vs deformación F-7, 8% fibras.

**Muestra F-8 – 8% Paja Ichu**

Tabla 132

*Dimensiones de la muestra F-8.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.90 cm	14.30 cm	9.80 cm	213.07 cm <sup>2</sup>

Tabla 133

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra F-8.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	3.67	14.08
500	0.88	2.35	3500	4.06	16.43
1000	1.57	4.69	4000	4.65	18.77
1500	2.31	7.04	4500	5.38	21.12
2000	2.76	9.39	5000	6.31	23.47
2500	3.18	11.73	5314	7.35	24.94

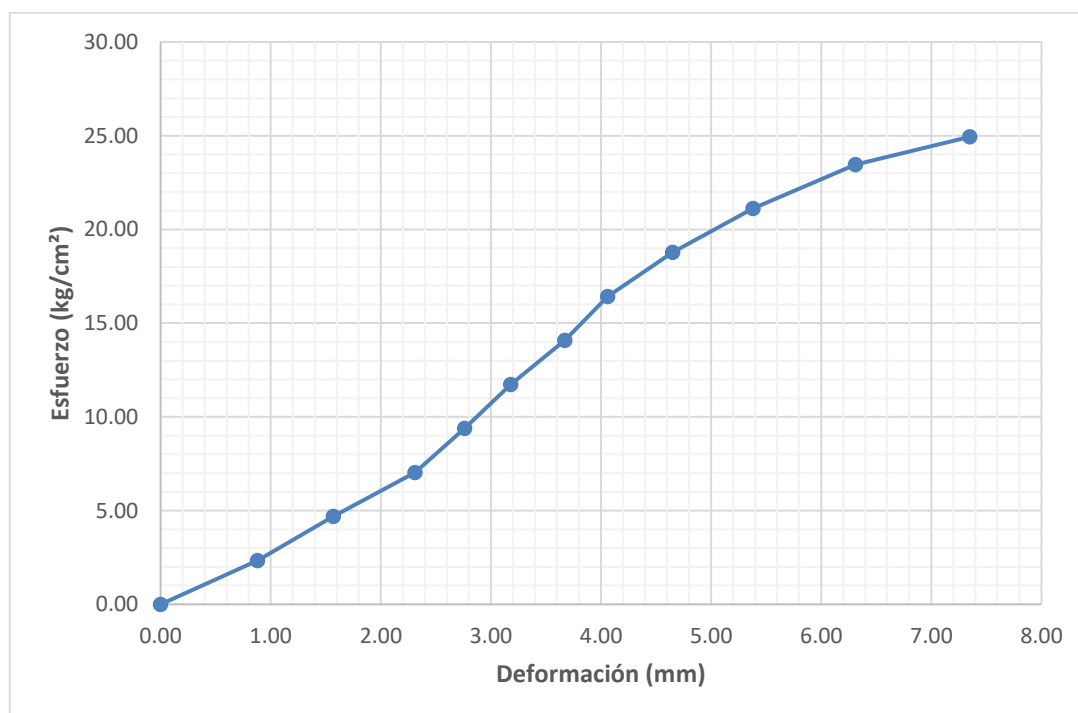


Figura 89. Esfuerzo vs deformación F-8, 8% fibras.

**Muestra G-1 – 12% Paja Ichu**

Tabla 134

*Dimensiones de la muestra G-1.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.10 cm	14.00 cm	10.50 cm	211.40 cm <sup>2</sup>

Tabla 135

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-1.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	5.58	11.83
500	1.14	2.37	3000	6.57	14.19
1000	2.80	4.73	3500	7.46	16.56
1500	3.13	7.10	3660	9.28	17.31
2000	4.74	9.46			

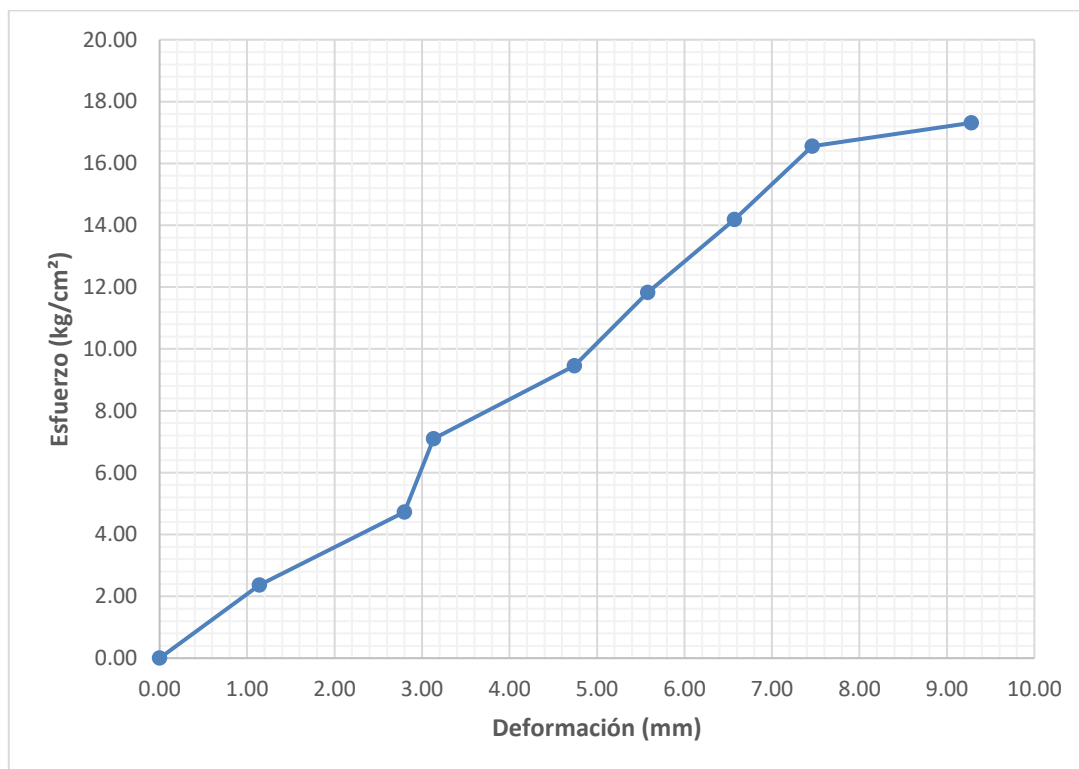


Figura 90. Esfuerzo vs deformación G-1, 12% fibras.

**Muestra G-2 – 12% Paja Ichu**

Tabla 136

*Dimensiones de la muestra G-2.*

Largo	Ancho	Alto	Área
14.80 cm	14.30 cm	11.10 cm	211.64 cm <sup>2</sup>

Tabla 137

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-2.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	4.52	11.81
500	0.50	2.36	3000	5.02	14.18
1000	1.48	4.73	3500	5.43	16.54
1500	2.44	7.09	4000	6.47	18.90
2000	3.33	9.45	4164	7.52	19.66

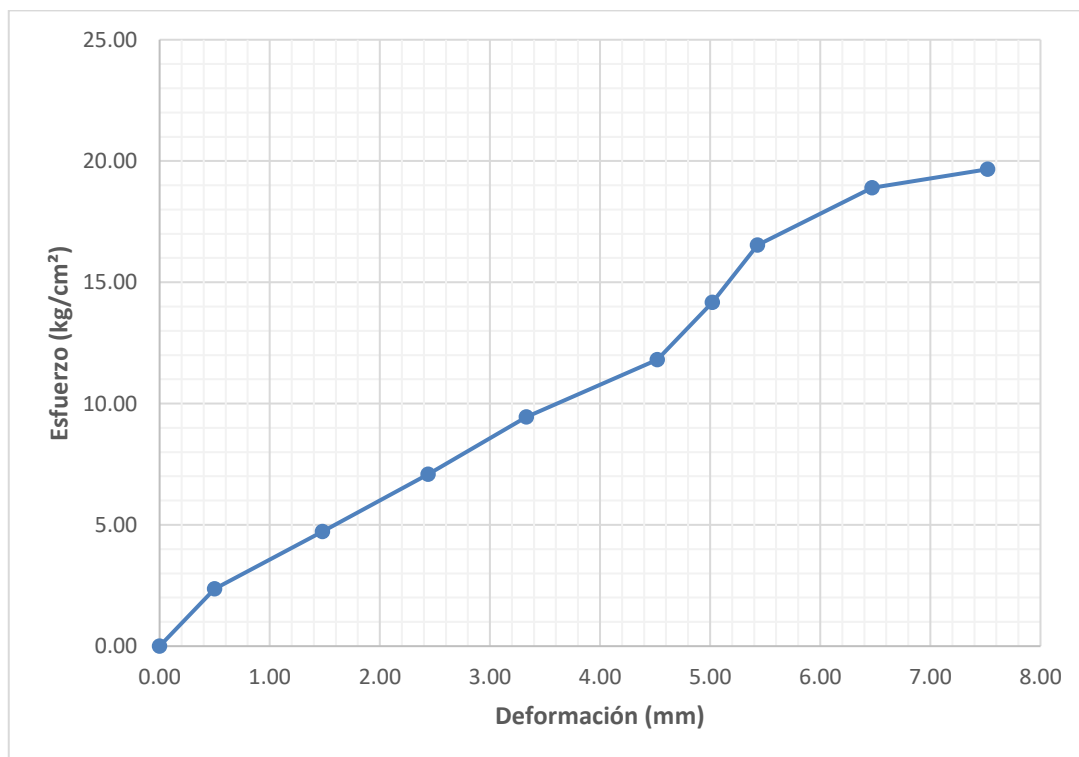


Figura 91. Esfuerzo vs deformación G-2, 12% fibras.

**Muestra G-3 – 12% Paja Ichu**

Tabla 138

*Dimensiones de la muestra G-3.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.30 cm	14.40 cm	11.30 cm	220.32 cm <sup>2</sup>

Tabla 139

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-3.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	2.09	13.62
500	0.26	2.27	3500	2.42	15.89
1000	0.68	4.54	4000	2.76	18.16
1500	1.17	6.81	4500	3.37	20.42
2000	1.45	9.08	5000	4.14	22.69
2500	1.74	11.35	5207	6.26	23.63

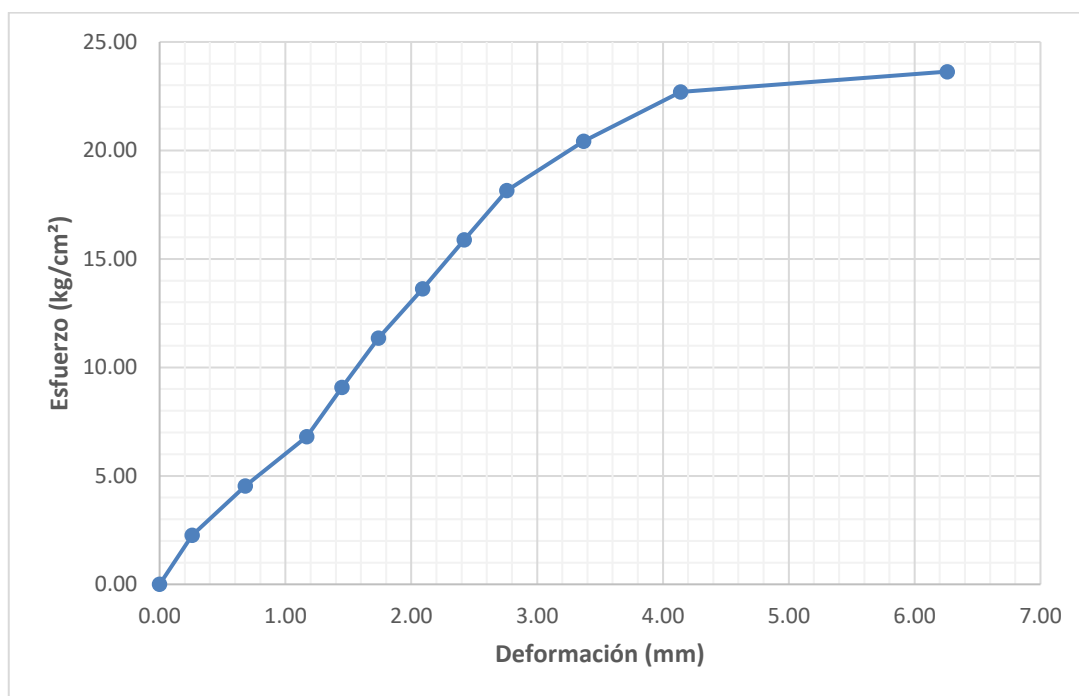


Figura 92. Esfuerzo vs deformación G-3, 12% fibras.

**Muestra G-4 – 12% Paja Ichu**

Tabla 140

*Dimensiones de la muestra G-4.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.20 cm	14.40 cm	11.00 cm	218.88 cm <sup>2</sup>

Tabla 141

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-4.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	2.77	13.71
500	0.38	2.28	3500	3.26	15.99
1000	1.04	4.57	4000	3.76	18.27
1500	1.48	6.85	4500	4.48	20.56
2000	1.92	9.14	5000	5.19	22.84
2500	2.34	11.42	5385	7.28	24.60

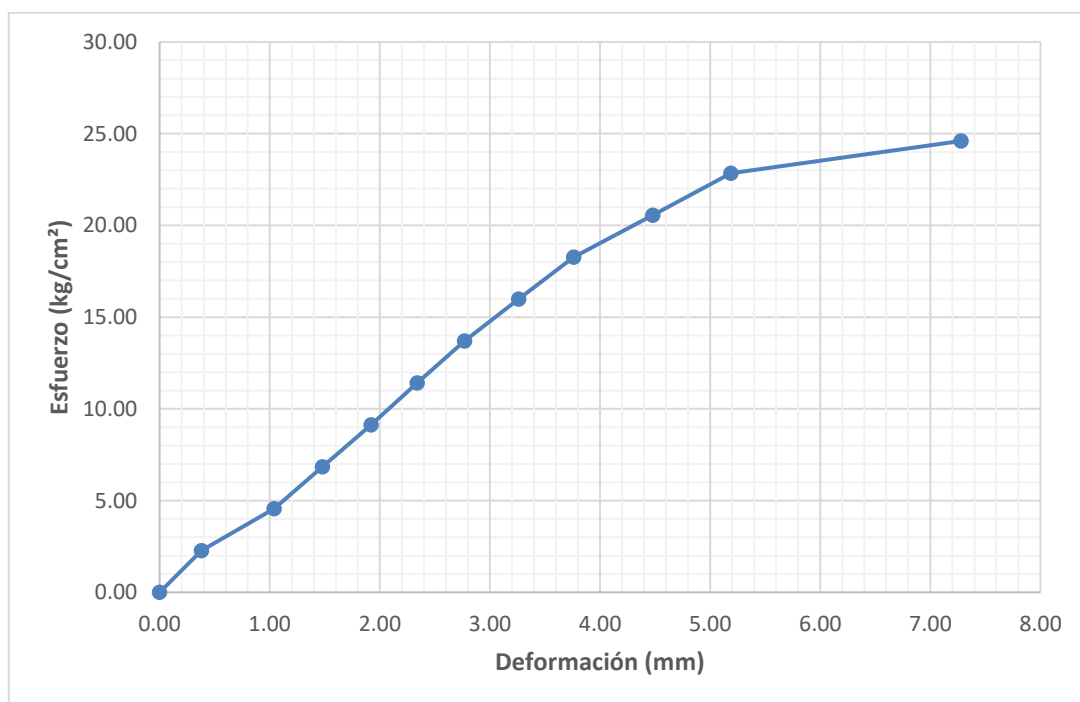


Figura 93. Esfuerzo vs deformación G-4, 12% fibras.

**Muestra G-5 – 12% Paja Ichu**

Tabla 142

*Dimensiones de la muestra G-5.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.70 cm	10.70 cm	220.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 143

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-5.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	4.68	13.61
500	1.74	2.27	3500	5.13	15.87
1000	2.28	4.54	4000	6.14	18.14
1500	2.83	6.80	4500	7.66	20.41
2000	3.47	9.07	4673	8.15	21.19
2500	4.12	11.34			

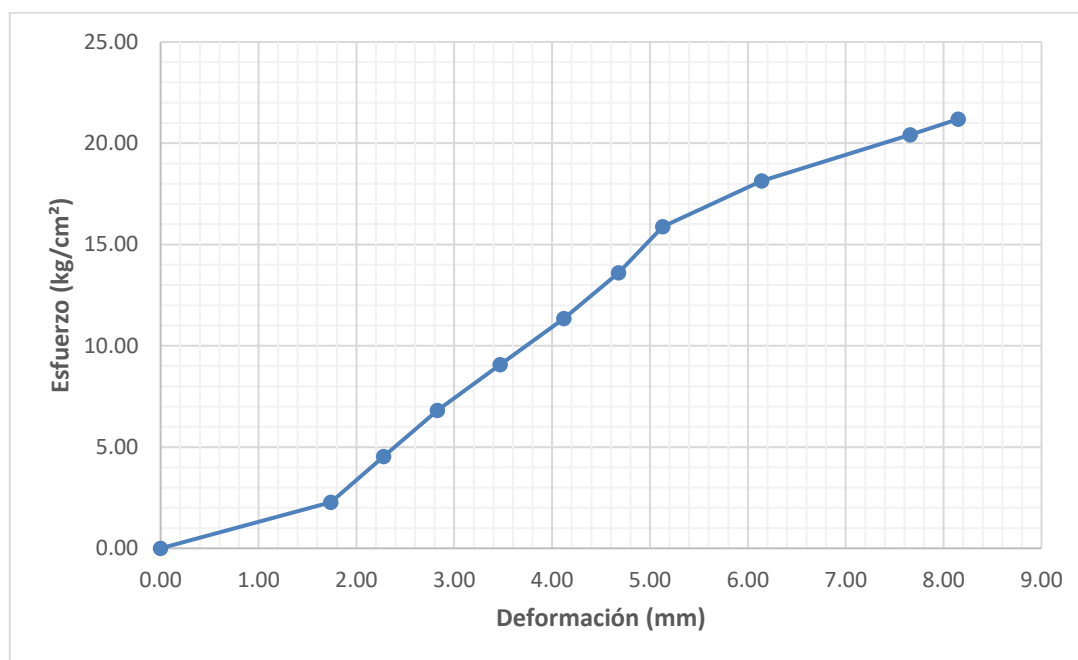


Figura 94. Esfuerzo vs deformación G-5, 12% fibras.

**Muestra G-6 – 12% Paja Ichu**

Tabla 144

*Dimensiones de la muestra G-6.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.00 cm	14.50 cm	10.60 cm	217.50 cm <sup>2</sup>

Tabla 145

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-6.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	6.25	13.79
500	1.74	2.30	3500	7.14	16.09
1000	2.89	4.60	4000	8.20	18.39
1500	3.78	6.90	4500	10.24	20.69
2000	4.63	9.20	4868	10.89	22.38
2500	5.50	11.49			

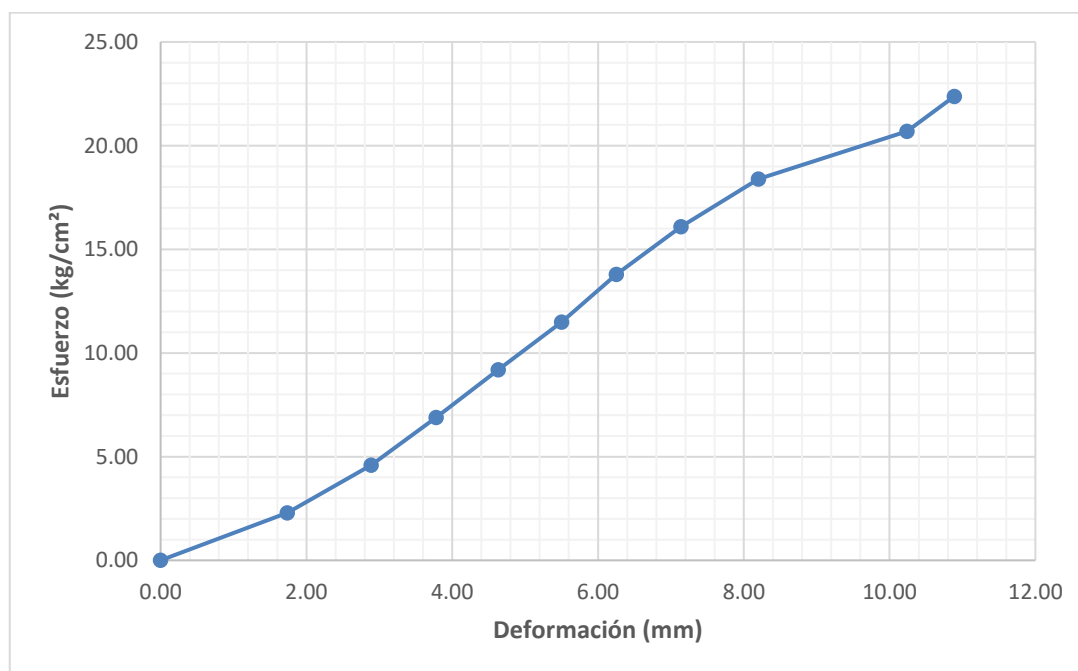


Figura 95. Esfuerzo vs deformación G-6, 12% fibras.



**Muestra G-7 – 12% Paja Ichu**

Tabla 146

*Dimensiones de la muestra G-7.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.20 cm	14.40 cm	10.30 cm	218.88 cm <sup>2</sup>

Tabla 147

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-7.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	3000	4.89	13.71
500	1.03	2.28	3500	5.62	15.99
1000	2.12	4.57	4000	6.74	18.27
1500	2.81	6.85	4500	7.68	20.56
2000	3.64	9.14	4612	8.18	21.07
2500	4.33	11.42			

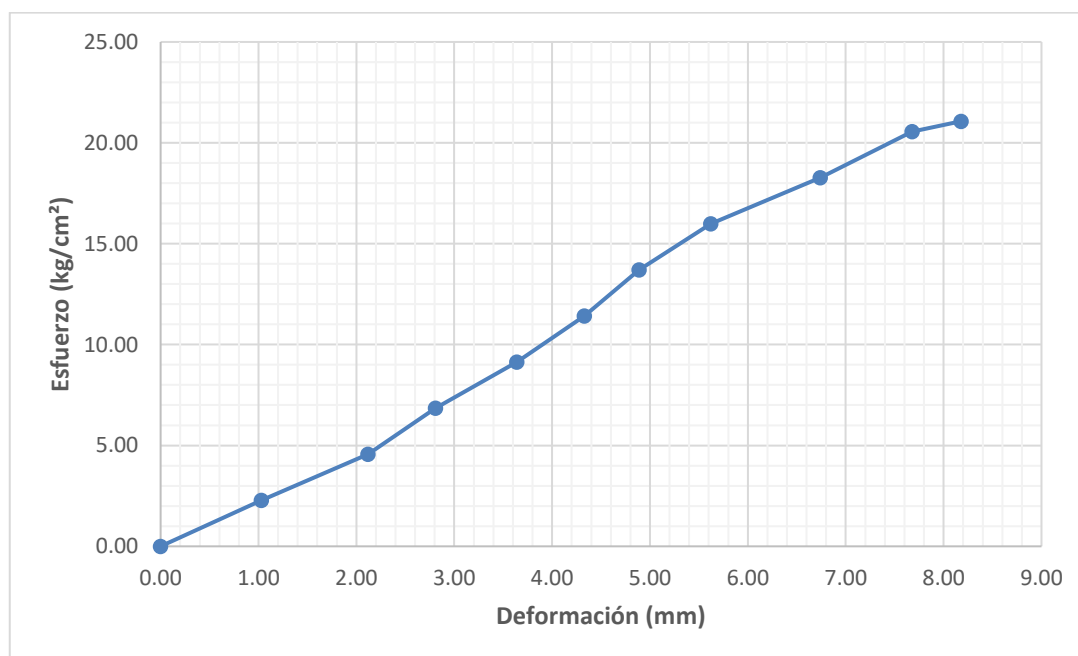


Figura 96. Esfuerzo vs deformación G-7, 12% fibras.

**Muestra G-8 – 12% Paja Ichu**

Tabla 148

*Dimensiones de la muestra G-8.*

Largo	Ancho	Alto	Área
15.10 cm	14.50 cm	10.20 cm	218.95 cm <sup>2</sup>

Tabla 149

*Resultados de ensayo a compresión de la muestra G-8.*

Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	2500	3.24	11.42
500	0.89	2.28	3000	3.68	13.70
1000	1.57	4.57	3500	4.23	15.99
1500	2.04	6.85	4000	4.86	18.27
2000	2.71	9.13	4838	5.98	20.55

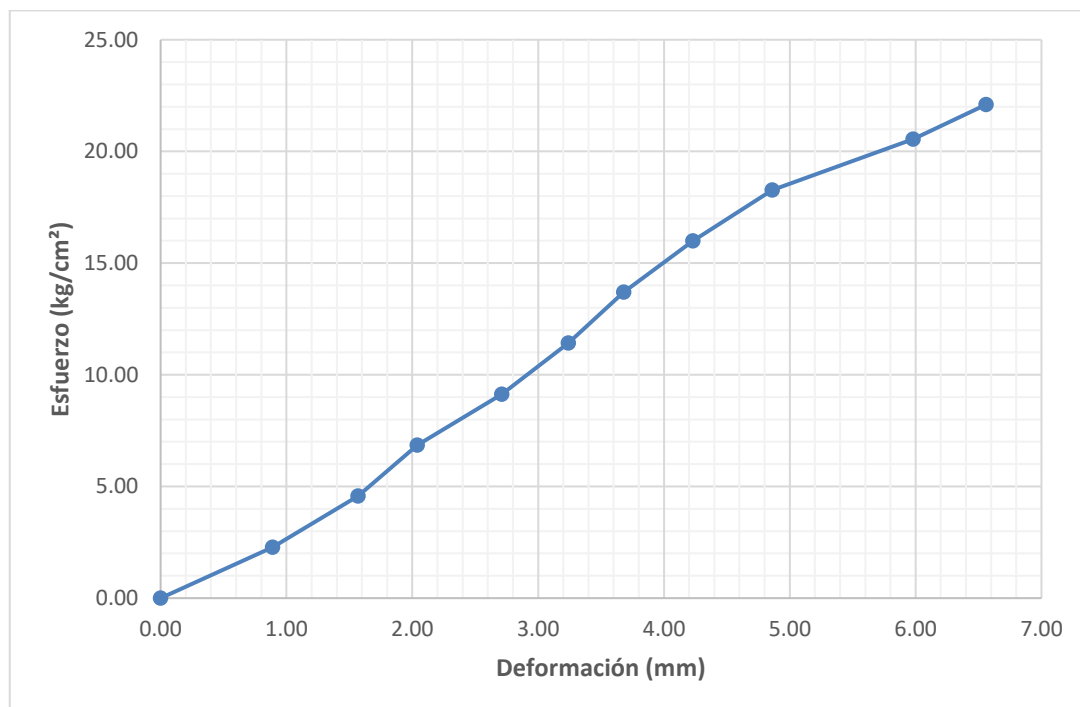


Figura 97. Esfuerzo vs deformación G-8, 12% fibras.