



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS:

Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.

Danna Marcela Ávila Rodríguez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Artes, Escuela de Arquitectura y Urbanismo
Bogotá, Colombia
2023

DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS:

Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.

Danna Marcela Ávila Rodríguez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Construcción

Director:

PhD. MSc. Arq. Jorge Enrique Lozano Peña

Línea de Investigación:

Madera y Guadua

Grupo de Investigación:

Madera y Guadua Universidad Nacional de Colombia – GIMG

Centro de Investigación de Bambú y Madera – CIBAM

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes, Escuela de Arquitectura y Urbanismo

Bogotá, Colombia

2023

A mis padres y hermana: motivo, impulso y amor

Se humedecen las piñas de pino en senderos que se abren a su movimiento. Y es ese movimiento del que surgen las ideas, es ese movimiento que permite observar, imitar, aprender. Para poder usar el estudio de lo que antes estuvo, como una ventaja de lo que vendrá.

No ha sido solo mi esfuerzo, sino el del mundo que me ha permitido estar aquí, y es por él y por todos los que tienen en su hogar ese despacho, que dedico esta obra a quienes, postrados frente a la naturaleza, creamos el futuro.

Agradecimientos

La gratitud es un sentimiento que reúne dos o más personas, rodeando una meta, cubriendo el punto de fuga por el que se filtra el deseo de lograrlo.

La gratitud, alguna vez alguien murmuró que es la llave que abre toda puerta en el mundo. Y quiero rendir tributo de esta llave maestra a mis padres, que han sido los que con su brazo fuerte abrieron de par en par las puertas a que yo pueda conocer este mundo, a que pueda entenderlo mejor y a poder sentir propia esta vida. Sin ellos, seguramente seguiría perdida intentando buscar la manera de entrar. Otra de las características que marcan la gratitud, es ser consciente de quién te ha tendido la mano. Algunas veces, las palabras soltadas desde lo alto pueden ser utilizadas de cuerda, o de sogas, depende quién las haya aventado. Usé muchas veces esa cuerda, ese camino vertical que me ha dirigido a ver el otro lado de la pared, y al subirlo, he tenido la fortuna de encontrar en la cima a mi hermana. Fuerte, decidida a soportar el peso de lo que muchas veces se carga en la espalda y no se ve. Le agradezco ayudarme a poder ver juntas del otro lado del muro.

Por último, un deseo. Un deseo que viene caminando desde la primera página y le he prometido que nos reencontraremos al finalizar esta tesis: *La correspondencia*. La acción de devolver lo irrecuperable, como lo es el tiempo. Por ello quiero corresponder en esta parte a todas las personas que estuvieron involucradas en la realización de esta tesis, en especial a mi asesor el Arq. MSc. David Sebastián Pérez y a mi Director el PhD. MSc. Arq. Jorge Enrique Lozano, que me han brindado su tiempo, dedicación y conocimientos para hacer esto posible.

Agradezco a Dios, el haber habitado los corazones de todas las personas que he mencionado. Y, en definitiva, a mí misma. Que estas páginas sean un espejo de lo que se sacrifica en silencio, y de los logros que anidan debajo de la almohada.

Resumen

A partir de la biomímesis entendida como “soluciones basadas en la naturaleza”¹, se busca aportar al conocimiento específico por medio de la caracterización de un material bicapa compuesto de madera y fibra textil de lino de origen natural, bajo las condiciones de humedad de Bogotá. Proceso realizado desde la emulación del movimiento presentado en las piñas de coníferas como respuesta a los cambios de humedad. Por lo tanto, se hace necesario comprender los procesos higromórficos que generan deformaciones ante la humedad, como oportunidad de soluciones constructivas pasivas frente al control de factores medioambientales, que aprovechen las propiedades del material.

Esta tesis se presenta en tres etapas de trabajo: En la primera se estudian los principios físicos que se pueden retomar del comportamiento higromórfico de las piñas de coníferas que abren sus escamas cuando se secan y se cierran cuando aumenta los niveles de humedad gracias a su estructura de tejidos bicapa. En la segunda se seleccionan los materiales a usar para emular el proceso, en la que se escoge dos tipos de lino ya que al ser fibras vegetales tienen buena absorción de agua, y potencializan la respuesta durante los ciclos de humectación/secado del bicapa, y se combina con seis tipos de chapilla y dos interfaces de unión, con el fin de presentar en la tercera etapa la caracterización del material bicapa de madera y fibra de lino con mejores respuestas bajo las variables de deformación, el tiempo de respuesta, y la integridad estructural a lo largo de varios ciclos.

Para finalizar se cuantifican los resultados que permiten determinar su desempeño, las aplicaciones en el sector de la construcción y una comparación basada en investigaciones previas a una escala de laboratorio.

Palabras clave: Biomímesis, Higromórfico, material bicapa, madera, fibra de lino.

¹ Es decir, copiamos de la naturaleza soluciones a problemas que esta ha resuelto eficazmente después de millones de años de evolución. (Olivares, 2022)

Abstract

FROM BIOMYMESIS TO HYGROMORPHIC MATERIALS: Characterization of the hygromorphic behavior of a bilayer material composed of wood and flax fiber, in the face of changes in relative humidity in the city of Bogotá.

From the Biomimetics, which is understood as "nature-based solutions", this project aims to contribute to the specific knowledge through means of the characterization of a bilayer material made out of wood and linen textile fiber of natural origins, analyzed under the conditions of humidity in Bogotá. This process is performed through the emulation of the movement of conifer cones, which occurs as a response of changes in humidity. Therefore, it is essential to comprehend the hygromorphic processes that produces deformations due to humidity, as an opportunity to generate passive constructive solutions in order to face the control of environmental factors, to take advantage of the properties of the material.

This paper is presented in three stages of work. The first stage emphasizes on studying the physical principles that can be observed in the hygromorphic behavior of the conifer cones that open their scales when dry and close when humidity levels increase due to its bilayer fabric structure. In the second stage, the materials to be used to emulate this process are selected. Two types of linen are chosen, since being vegetable sourced fibers, they have good water absorption and potentiate the response during the wetting/drying cycles of the bilayer. It is combined with six types of veneer and two union interfaces, in order to present in the third stage, the characterization of the bilayer material of wood and linen fiber with better responses under the variables of deformation, response time, and structural integrity over several cycles.

Finally, the results that allow to assess performance are quantified, analyzing the applications in the construction sector and making a comparison based on previous research at a laboratory scale.

Keywords: Biomimicry, Hygromorphic, Bilayer material, Wood, Linen fiber

Contenido

Resumen	IX
Abstract.....	X
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XVIII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XIX
Introducción	1
1. Planteamiento del problema.....	4
1.1 Justificación.....	5
1.2 Pregunta de Investigación	9
2. Objetivos.....	11
2.1 Objetivo General	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. Metodología.....	13
3.1 Metodología de Investigación	13
3.1.1 Cuantitativa Experimental	13
3.1.2 Actividades para la obtención de la información.....	14
3.1.3 Variables a medir	16
3.3 Diseño Biomimético	17
4. Marco Teórico.....	21
4.1 Biomimesis.....	21
4.1.1 Bases Teóricas.....	24
4.1.2 Aplicaciones Biomiméticas como Referentes.....	25
4.1.3 De la Biomimesis a los materiales higromórficos	27

5. Componentes material bicapa con respuesta higromórfica	31
5.1 Material bicapa.....	31
5.2 Propiedades del material bicapa que afectan la aplicabilidad- respuesta higromórfica.....	33
5.2.1 Magnitud de deformación	35
5.2.2 Tiempo de respuesta	35
5.2.3 Integridad estructural	36
5.3 Atributos de selección del compuesto	37
5.4 Compuestos Naturales.....	39
5.4.1 Lino.....	39
6. Condiciones de humedad relativa en Bogotá	47
7. Desarrollo diseño experimental	49
7.1 Proceso fabricación de probetas	49
7.2 FASE 1 – Diseño Experimental material bicapa	51
7.3 FASE 2 – Diseño Experimental respuesta del material bicapa	55
7.4 Selección del material	59
7.5 Resultados primera fase.....	60
7.6 Análisis de Resultados primera fase	114
7.7 Resultados segunda fase	117
8. Comparación de resultados con estudios previos	134
9. Aplicaciones Potenciales.....	139
9.1 Arquitectura Biomimetica Pasiva.....	139
9.2 Métodos de Simulación	146
10. Conclusiones y recomendaciones.....	152
10.1 Conclusiones.....	152
10.2 Recomendaciones.....	154
A. Anexo: Registro búsqueda estratégica	¡Error! Marcador no definido.
C. Anexo: Estudio comparativo fibras naturales vegetales.....	¡Error! Marcador no definido.
D. Anexo: Determinación peso de probetas	¡Error! Marcador no definido.
E. Anexo: Registro ensayo combinaciones a humedad constante...¡	¡Error! Marcador no definido.
F. Anexo: Probetas Iniciales	¡Error! Marcador no definido.
G. Anexo: Preselección de probetas	¡Error! Marcador no definido.
H. Anexo: Registro ensayo experimento selección	¡Error! Marcador no definido.
Bibliografía	156

Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 1 Enfoque cuantitativo experimental	14
Figura 2 Diseño del estudio Metodológico.	15
Figura 3 Diseño del estudio Metodológico.	16
Figura 4 Propiedades que afectan la aplicabilidad del material bicapa	17
Figura 5 Metodologías de desarrollo biomimético	18
Figura 6 Aplicación Espiral del diseño biomimético	19
Figura 7 Proceso de aplicación del diseño biomimético	20
Figura 8 Escalas y lecciones de la biomímesis	22
Figura 9 Fenómenos físicos/higromórficos estudiados en la naturaleza	28
Figura 10 Caracterización de las piñas de coníferas	30
Figura 11 Capa pasiva y activa en las piñas de coníferas	32
Figura 12 Propiedades de materiales bicapa con respuesta higromórfica	34
Figura 13 PROMEDIO Tiempo VS. Deformación HA+Trans+Lino2+Peg1	36
Figura 14 Delaminación.....	36
Figura 15 Rangos de comportamiento	37
Figura 16 Comportamiento adaptativo como atributo de selección	38
Figura 17 Fibras textiles: Naturales y Sintéticas	39
Figura 18 La madera como material sensible	43
Figura 19 Variaciones de temperatura, y humedad relativa horaria, Bogotá	47
Figura 20 Fabricación de probetas	50
Figura 21 Prensado de probetas	50
Figura 22 Material bicapa	51
Figura 23 Variaciones de probetas por especie de madera	55
Figura 24 Nomenclatura de probetas.....	56
Figura 25 Combinaciones de probetas por especie de madera	56
Figura 26 Muestra a las 24 horas de exposición.....	57
Figura 27 Montaje ensayo de selección.....	58
Figura 28 “Registro ensayo combinaciones de madera y fibra de lino expuestas a humedad constante”	59
Figura 29 SA+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	60
Figura 30 Curvatura Circular (SA+Long+Lino1+Peg1)	60
Figura 31 SA+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	61
Figura 32 Curvatura Circular (SA+Long+Lino2+Peg1).....	61

Figura 33 SA+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	62
Figura 34 Curvatura Circular (SA+Trans+Lino1+Peg1)	62
Figura 35 SA+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	63
Figura 36 Curvatura Circular (SA+Trans+Lino2+Peg1)	63
Figura 37 SA+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	64
Figura 38 Curvatura Circular (SA+Long+Lino1+Peg2).....	64
Figura 39 SA+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	65
Figura 40 Curvatura Circular (SA+Long+Lino2+Peg2).....	65
Figura 41 SA+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	66
Figura 42 Curvatura Circular (SA+Trans+Lino1+Peg2)	66
Figura 43 SA+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	67
Figura 44 Curvatura Circular (SA+Trans+Lino2+Peg2)	67
Figura 45 Grafica de tiempo vs deformación SAPELLI	68
Figura 46 FM+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	69
Figura 47 Curvatura Circular (FM+Long+Lino1+Peg1)	69
Figura 48 FM+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	70
Figura 49 Curvatura Circular (FM+Long+Lino2+Peg1)	70
Figura 50 FM+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	71
Figura 51 Curvatura Circular (FM+Trans+Lino1+Peg1)	71
Figura 52 FM+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	72
Figura 53 Curvatura Circular (FM+Trans+Lino2+Peg1)	72
Figura 54 FM+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	73
Figura 55 Curvatura Circular (FM+Long+Lino1+Peg2)	73
Figura 56 FM+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	74
Figura 57 Curvatura Circular (FM+Long+Lino2+Peg2)	74
Figura 58 FM+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	75
Figura 59 Curvatura Circular (FM+Trans+Lino1+Peg2)	75
Figura 60 FM+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	76
Figura 61 Curvatura Circular (FM+Trans+Lino2+Peg2)	76
Figura 62 Grafica de tiempo vs deformación FLOR MORADO	77
Figura 63 SY+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	78
Figura 64 Curvatura Circular (SY+Long+Lino1+Peg1).....	78
Figura 65 SY+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	79
Figura 66 Curvatura Circular (SY+Long+Lino2+Peg1).....	79
Figura 67 SY+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	80
Figura 68 Curvatura Circular (SY+Trans+Lino1+Peg1)	80
Figura 69 SY+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	81
Figura 70 Curvatura Circular (SY+Trans+Lino2+Peg1)	81
Figura 71 SY+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	82
Figura 72 Curvatura Circular (SY+Long+Lino1+Peg2).....	82
Figura 73 SY+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	83
Figura 74 Curvatura Circular (SY+Long+Lino2+Peg2).....	83
Figura 75 SY+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	84
Figura 76 Curvatura Circular (SY+Trans+Lino1+Peg2)	84

Figura 77 SY+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	85
Figura 78 Curvatura Circular (SY+Trans+Lino2+Peg2)	85
Figura 79 Grafica de tiempo vs deformación SYCAMORE	86
Figura 80 PA+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	87
Figura 81 Curvatura Circular (PA+Long+Lino1+Peg1).....	87
Figura 82 PA+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	88
Figura 83 Curvatura Circular (PA+Long+Lino2+Peg1).....	88
Figura 84 PA+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	89
Figura 85 Curvatura Circular (PA+Trans+Lino1+Peg1)	89
Figura 86 PA+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	90
Figura 87 Curvatura Circular (PA+Trans+Lino2+Peg1)	90
Figura 88 PA+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	91
Figura 89 Curvatura Circular (PA+Long+Lino1+Peg2).....	91
Figura 90 PA+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	92
Figura 91 Curvatura Circular (PA+Long+Lino2+Peg2).....	92
Figura 92 PA+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	93
Figura 93 Curvatura Circular (PA+Trans+Lino1+Peg2)	93
Figura 94 PA+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	94
Figura 95 Curvatura Circular (PA+Trans+Lino2+Peg2)	94
Figura 96 Grafica de tiempo vs deformación PALISANDRO.....	95
Figura 97 TN+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	96
Figura 98 Curvatura Circular (TN+Long+Lino1+Peg1).....	96
Figura 99 TN+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	97
Figura 100 Curvatura Circular (TN+Long+Lino2+Peg1).....	97
Figura 101 TN+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	98
Figura 102 Curvatura Circular (TN+Trans+Lino1+Peg1).....	98
Figura 103 TN+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	99
Figura 104 Curvatura Circular (TN+Trans+Lino2+Peg1).....	99
Figura 105 TN+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	100
Figura 106 Curvatura Circular (TN+Long+Lino1+Peg2).....	100
Figura 107 TN+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	101
Figura 108 Curvatura Circular (TN+Long+Lino2+Peg2).....	101
Figura 109 TN+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	102
Figura 110 Curvatura Circular (TN+Trans+Lino1+Peg2).....	102
Figura 111 TN+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	103
Figura 112 Curvatura Circular (TN+Trans+Lino2+Peg2).....	103
Figura 113 Grafica de tiempo vs deformación SYCAMORE	104
Figura 114 HA+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	105
Figura 115 Curvatura Circular (HA+Long+Lino1+Peg1)	105
Figura 116 HA+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	106
Figura 117 Curvatura Circular (HA+Long+Lino2+Peg1)	106
Figura 118 HA+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	107
Figura 119 Curvatura Circular (HA+Trans+Lino1+Peg1)	107
Figura 120 HA+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado).....	108

Figura 121 Curvatura Circular (HA+Trans+Lino2+Peg1)	108
Figura 122 HA+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	109
Figura 123 Curvatura Circular (HA+Long+Lino1+Peg2)	109
Figura 124 HA+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	110
Figura 125 Curvatura Circular (HA+Long+Lino2+Peg2)	110
Figura 126 HA+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	111
Figura 127 Curvatura Circular (HA+Trans+Lino1+Peg2)	111
Figura 128 HA+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	112
Figura 129 Curvatura Circular (HA+Trans+Lino2+Peg2)	112
Figura 130 Grafica de tiempo vs deformación HAYA	113
Figura 131 Selección de probetas	114
Figura 132 Preselección de probetas (25 muestras)	115
Figura 133 : Probetas seleccionadas	117
Figura 134: Comportamiento probeta seleccionada SA+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	118
Figura 135 : Comportamiento probeta seleccionada SA+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	118
Figura 136 : Comportamiento probeta seleccionada HA+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	118
Figura 137 : Comportamiento probeta seleccionada HA+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)	119
Figura 138 Combinaciones de probetas por especie de madera	120
Figura 139 Fotografías del ciclo de humedad alta SA+Long+Lino2+Peg2	121
Figura 140 Fotografías del ciclo de humedad baja SA+Long+Lino2+Peg2	122
Figura 141 Fotografías del ciclo de humedad alta SA+Trans+Lino2+Peg2	123
Figura 142 Fotografías del ciclo de humedad baja SA+Trans+Lino2+Peg2	124
Figura 143 Fotografías del ciclo de humedad alta HA+Long+Lino2+Peg1	125
Figura 144 Fotografías del ciclo de humedad baja HA+Long+Lino2+Peg1	126
Figura 145 Fotografías del ciclo de humedad alta HA+Trans+Lino2+Peg1	127
Figura 146 Fotografías del ciclo de humedad baja HA+Trans+Lino2+Peg1	128
Figura 147 Comportamiento de las probetas HA+Long+Lino2+Peg1, Tiempo Vs. Deformación	129
Figura 148 Promedio Comportamiento de las probetas HA+Long+Lino2+Peg1, Tiempo Vs. Deformación	130
Figura 149 Comportamiento de las probetas HA+Trans+Lino2+Peg1, Tiempo Vs. Deformación	131
Figura 150 Promedio Comportamiento de las probetas HA+Trans+Lino2+Peg1, Tiempo Vs. Deformación	131
Figura 151 Comparación Tiempo Vs. Deformación de las probetas HA+Trans+Lino2+Peg1, y HA+Long+Lino2+Peg1	132
Figura 152 Propuesta medición probetas sentido longitudinal HA+Trans+Lino2+Peg1	133
Figura 153 Sentido de giro en probetas longitudinales	133

Figura 154 Comparación Tiempo Vs. Deformación de las probetas SA+HA LL, SA+LONG+LINO2+PEG2, HA+LONG+LINO2+PEG1, SA+HA TT, SA+TRANS+LINO2+PEG2 y HA+TRANS+LINO2+PEG1	135
Figura 155 Comparación Tiempo Vs. Deformación de las probetas Abedul Plateado + Fibra de Vidrio y HA+Trans+Lino2+Peg1	136
Figura 156 Curvatura típica medida en función del tiempo durante la sorción (símbolos rellenos) y la desorción (símbolos huecos) para $m = 0,5$ LINO+POLIPROPILENO	138
Figura 157 Comparación Tiempo Vs. Deformación de las probetas LINO+POLIPROPILENO y HA+Trans+Lino2+Peg1	138
Figura 158 Pruebas de laboratorio de sistema arquitectónico adaptativo	139
Figura 159 Piel de edificio arquitectónico: un prototipo funcional mayor construido para explorar las posibilidades funcionales del sistema material presentado.	140
Figura 160. Configuraciones modulares de bicapa de madera y fibra de lino	140
Figura 161 Variables del sistema higromórfico	142
Figura 162 Propuestas de módulos de compuestos bicapa de madera y fibra de lino ..	143
Figura 163 Propuesta 1 de estructura modular a partir de piezas base de bicapa de madera y fibra de lino, que se repiten.....	144
Figura 164 Propuesta 2 de estructura modular a partir de piezas base de bicapa de madera y fibra de lino, que se repiten.....	145
Figura 165 Propuesta 3 de estructura modular a partir de piezas base de bicapa de madera y fibra de lino, que se repiten.....	145
Figura 166 Softwares de modelado 3D aplicables a los métodos de simulación.....	149
Figura 167 Propuesta modulo geométrico higromórfico.....	150

Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1 Concepto de Biomímesis.....	22
Tabla 2 Proyectos representativos– biomímesis	25
Tabla 3 Atributos básicos del Lino como material textil	40
Tabla 4 Propiedades del Lino.....	42
Tabla 5 Comportamiento higromórfico en la madera.....	44
Tabla 6 Promedios mensual y anual de humedad relativa en Bogotá	48
Tabla 7 Caracterización Anatómica Capa Activa.....	52
Tabla 8 Características generales del Lino	54
Tabla 9 Valores de curvatura circular (K) en m-1 de las 25 probetas durante el ensayo, ordenados por tipo de madera (K vs tiempo).....	116

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
-------------	---------

SA	Sapelli
FM	Flormorado
SY	Sycamores
PA	Palisandro
TN	Teca Natural
HA	Haya
L	Longitudinal
T	Transversal
RC	Recuperación Completa
DL	Deformación Leve (menor a 5mm)
DM	Deformación Moderada (entre 5mm y 20 mm)
DS	Deformación Severa (mayor de 20 mm)

Introducción

En el marco de los impactos negativos ambientales en industrias como la construcción, la biomimesis ofrece una oportunidad de aprendizaje de estrategias desarrolladas por la naturaleza para responder a estímulos externos como la humedad. Más allá de una adaptación, se busca potenciar el comportamiento de los materiales para emular procesos que den respuestas eficientes, al ser sensibles al clima y no generen gastos adicionales de energía. “Un aspecto particularmente intrigante y útil de muchos materiales naturales es su capacidad para cambiar sus propiedades fisicoquímicas, ya sea en respuesta a un estímulo externo o basándose en señales creadas dentro del organismo, como la apertura pasiva de las piñas al secarse.” (De Espinosa, Montero, Moatsou, & Weder, 2017)

Al observar la naturaleza se evidencia que hay plantas con estructura de dos capas, que responden a los estímulos de humedad relativa. Es así como surge “de las plantas a la construcción” método de abstracción de procesos higromórficos de las piñas de coníferas, para ser trasladados al sector de la construcción a través de la propuesta de un material bicapa de madera con fibra de lino, en donde la capa activa (higroexpansión) y la capa pasiva (estabilidad dimensional) cambian de forma según los contenidos de humedad.

Con el uso de materiales bicapa, se busca describir la dinámica del cierre y la apertura de los movimientos násticos² reversibles de organismos vegetales, que a su vez son capaces de adaptarse a las condiciones de humedad relativa de un lugar, que para el presente estudio será la ciudad de Bogotá al poseer valores altos que oscilan con una media del 80%.

Es así que, se emplea la biomimética como estrategia de diseño al inspirarse de la naturaleza, en sus elementos y procesos para resolver problemas técnicos en la

² Es un movimiento pasajero de determinados órganos de un vegetal frente a un estímulo de carácter externo y difuso. (Font Quer, 1982)

construcción. Esto se logra al transformar los cambios dimensionales de los materiales bicapa en flexión activa, para ser aplicados en estructuras responsivas autónomas con respuesta a la humedad, ya sea para envolventes de edificios o sistemas de sombreado que regulen factores ambientales para contribuir al confort y disminuir los gastos energéticos de las edificaciones.

El aporte a la construcción desde la biomimesis, es explorar y emplear la naturaleza como patrón para encontrar estrategias que mejoren problemas reales. Al aprovechar la naturaleza como fuente de inspiración, se encuentran estrategias más sostenibles y de bajo consumo energético que empleen materiales naturales, al entender los principios básicos que intervienen en la respuesta de las edificaciones con su entorno. Por ello, se recurre al uso de la madera al ser un material renovable si su producción se da de manera sustentable, y con bajas emisiones de CO₂ en comparación a materiales convencionales en el sector de la construcción. Es así que para la presente investigación se emplean chapillas naturales, de fácil acceso comercial y de producción local en Bogotá. Además, de poseer un gran valor por su “capacidad de respuesta a estímulos intrínseca, anisotropía y alta rigidez, lo que permite la fabricación de bicapas con orientación diferencial de las fibras que pueden ser accionadas reversiblemente ante cambios de humedad relativa” (Yunqiao Pu, y otros, 2020)

De igual forma, en la selección de materiales se propone el uso de fibras naturales vegetales utilizadas principalmente en la industria textil como el lino. Lo anterior es gracias a que cuenta con una baja huella ambiental, ventajas económicas y una producción local que consume poca energía debido a los bajos impactos en procesos de transporte y distribución. Es así como la presente investigación, que se enmarca en el paradigma reciente de la biomimesis, busca generar estrategias pasivas replicables en el sector de la construcción, que utilice y optimice los insumos naturales de origen local para configurar estructuras transpirables y auto-regulables con su entorno.

Por tanto, la propuesta de diseño del estudio plantea el uso de una metodología cuantitativa de tipo experimental, con el fin de caracterizar los parámetros que intervienen en el funcionamiento de un material bicapa de origen natural, y las respuestas higromórficas que se obtienen frente a la humedad relativa de Bogotá. Para ello se realiza la fabricación de probetas, que tienen la madera como capa activa y la fibra textil de lino

como capa pasiva, unidas a través de una interfaz de adhesivos de contacto, para ser expuestas a condiciones de humedad de Bogotá y obtener una posterior caracterización de los parámetros que afectan a la aplicabilidad potencial de los compuestos. Los cuales según (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015) son la magnitud de deformación (capacidad de respuesta), el tiempo de respuesta (la reactividad), la capacidad de actuación (determinada por la fuerza producida como resultado de la respuesta) y la integridad estructural (capacidad de soportar cargas aplicadas sin deflexión excesiva y daños irreversibles).

1. Planteamiento del problema

La industria de la construcción permanentemente se expande, siendo esta responsable de aproximadamente el “50% de las emisiones de CO2 que se generan mundialmente. Además, que el 60% de la energía gastada de las edificaciones es por calefacción y refrigeración” (Huw, 2015). Sumado a ello la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), determino que en el 2022 el sector alcanzó un crecimiento del 33% comparado con noviembre de 2020 (Mora, 2022), lo que aumenta los consumos de energía, gastos de agua y la generación de desechos que impactan negativamente al ambiente.

Es así que, “Según un estudio de 2022, existen seis sectores que podrían reducir al menos a la mitad las emisiones mundiales para 2030, uno de los cuales es el de la construcción. La fabricación de edificaciones con materiales de baja huella de carbono es parte de la solución a este problema y la madera podría ser una de las opciones empleadas.” (Ugarte, Sierra, & Codriansky). Esto es debido a que algunas soluciones convencionales en la construcción no responden al entorno, al hacer uso de materiales que generan efectos negativos, como el deterioro de la capa de ozono debido a la emisión de agentes contaminantes, por lo que se debe buscar una rehabilitación energética. “En este ámbito se debería tener presente el uso de materiales con un bajo impacto ambiental a fin de lograr ahorro de energía, el consumo de agua, el uso de materiales de origen natural, evitando el uso del suelo virgen y más bien, mejorar las condiciones del que ha sido usado” (Redacción 360 en Concreto, s.f.)

Por lo tanto, es pertinente recurrir a estrategias basadas en criterios biomiméticos como modelo de desarrollo de tecnologías más sostenibles, que optimicen el uso de los materiales, con aportes desde el ámbito energético, económico y social. Es así como se propone el uso de materiales de origen natural (tipo vegetal) que se obtienen directamente de árboles y plantas, como la madera y lino, ya que según la FAO los insumos de fuentes renovables (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) son “respetuosos con el medio ambiente al reducir al mínimo la polución del aire, suelo y agua, son producidos sin el uso de sustancias químicas de síntesis y elaborados sin adición de sustancias artificiales”. (Barrios, 2012). A diferencia de los materiales sintéticos, que tienen un mayor impacto ambiental debido a que “la mayoría de ellos se fabrican con productos químicos derivados de combustibles fósiles; y en el caso de los textiles las microfibras están contaminando lagos, ríos y océanos”. (Federación Argentina de la Industria de la Indumentaria y Afines, 2022)

1.1 Justificación

En aras de contribuir al uso de materiales más sostenibles en la construcción, se propone la aplicación de la biomimesis para el desarrollo de componentes pasivos que aprovechen las propiedades de los materiales. Lo cual, es un medio de reducción del consumo de energía y costos en el sector siendo claro que la biomimesis está cada vez más presente, “lo que definirá en ciertos aspectos el futuro de la fabricación y la construcción, como el uso de componentes activos y sistemas sensibles con capacidad de reaccionar al medio y deformarse con el paso del tiempo, dependiendo de los diferentes estímulos ambientales” (López M. , Biomimesis, la alternativa para una construcción más sostenible, 2022). Lo descrito, a fin de dar respuesta a los desafíos energéticos y ambientales que enfrenta el sector de la construcción. Por su parte la biomimesis como premisa, busca encontrar soluciones en el mundo natural para hacer construcciones más eficientes con el uso de materiales naturales.

Ahora bien, tal como lo menciona (López, Rubio, Martín, & Croxford, 2017) “Aunque en los últimos años se ha comenzado a emplear la biomimética en la construcción, existe una limitada disponibilidad de recursos específicos para tal práctica”. Es evidente al realizar la

recolección de la información por ecuaciones de búsqueda sobre la literatura actual en Analitic Scopus, tal como se observa en el **(Anexo A)** son escasos los resultados de investigación referidos a los temas de materiales bicapa de origen natural y la biomimesis, ya que respecto a una media de 2,891 publicaciones en el sector de la construcción según la guía de buenas prácticas en la publicación de resultados en revistas científicas solo alrededor de 150 publicaciones se relacionan con el presente tema de investigación, siendo reflejo de los vacíos en el conocimiento.

Por su parte, esta investigación desde la perspectiva teórica se dispone a ofrecer una visión sistémica sobre la biomimesis y la aplicación de respuestas higromórficas de un material bicapa, a través de estrategias de emulación de procesos naturales y materiales renovables (material bicapa de madera con el uso de fibra de lino). Esto propuesto como una solución constructiva para futuras investigaciones en construcciones más sostenibles y tecnologías renovables pasivas, dado que este sector es de alto impacto en el consumo de energía en el uso de materiales.

Es así, que como estrategia de desarrollo de “soluciones basadas en la naturaleza” como mecanismo de inspiración, se toma el movimiento nástico de las piñas de coníferas, entendido como la reacción que se tiene a partir de un estímulo externo, “cuya respuesta se explica por un laminado asimétrico típico denominado estructura bicapa. De hecho, una capa activa y una capa pasiva estrechamente conectadas exhiben diferentes comportamientos de hinchamiento debido a su estructura” (Dunlop, Weinkamer, & Fratzi, 2011). Dando como resultado cambios de forma según los niveles de humedad a los que se expongan.

A partir de este fenómeno se han desarrollado investigaciones como “Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture” de Holstov, Bridgens, y Farmer, quienes exploran sistemas adaptativos basados en materiales higromórficos de bajo costo y con el uso de tecnologías sencillas, enfatizando en explorar las oportunidades en el uso de fibras naturales, como cáñamo, yute y lino, para capas pasivas, que presentan una mejor biodegradabilidad y ofrecen una reducción de energía incorporada. A partir de ello, se propone describir este mismo fenómeno higromórfico en combinación con fibras textiles de la industria local ya que el sector textil es uno de los más importantes en Colombia, y “Bogotá genera el 53% de los textiles, resaltando que las principales tendencias mundiales

en el tema de textiles, están orientadas por preocupaciones que tienen los consumidores por temas éticos como el cambio climático, generando así para Colombia, oportunidades dentro de las que se destacan la amplia biodiversidad que podría ser aprovechada para el desarrollo de productos verdes a partir de fibras naturales” (Cadena Productiva de Algodón Textil, Confecciones en Colombia, s.f.).

Es así que desde la industria textil las fibras de origen natural, al tener una producción local disminuyen los gastos de transporte y apoyan la economía local, contribuyendo a un desarrollo más sostenible, al disminuir los consumos elevados de energía y emisiones de CO₂ a la atmósfera. Debido a que “la producción y cosecha de la mayoría de estas fibras requieren menos energía que la producción industrial de las sintéticas y las plantas de las que provienen no emiten dióxido de carbono, por el contrario, lo absorben. Los residuos generados en su cosecha y procesamiento pueden ser utilizados en la creación de otros materiales compuestos para diferentes industrias” (Farias Iribarren, 2020).

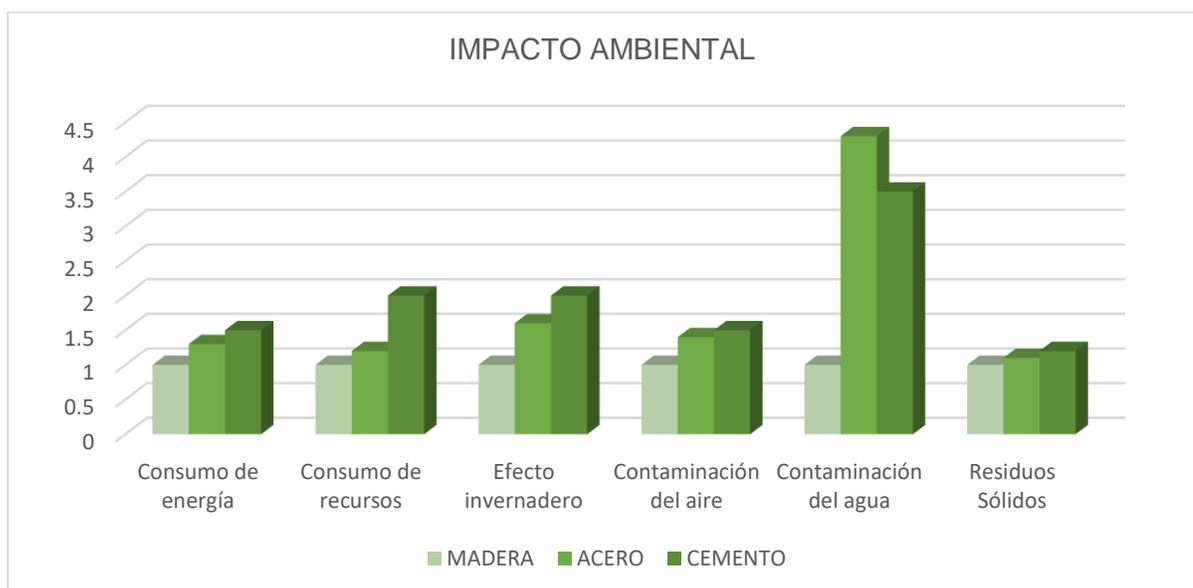
Por consiguiente, para el desarrollo del material con respuesta higromórfica se hace un análisis exploratorio de diferentes fibras naturales de origen vegetal (**Ver Anexo B**) bajo los siguientes parámetros:

1. Fuente de obtención de la materia prima.
2. Proceso de extracción e impactos en su obtención.
3. Proceso de fabricación, los cuales determinan que fibra tiene mejores prestaciones en su elaboración e implementación.

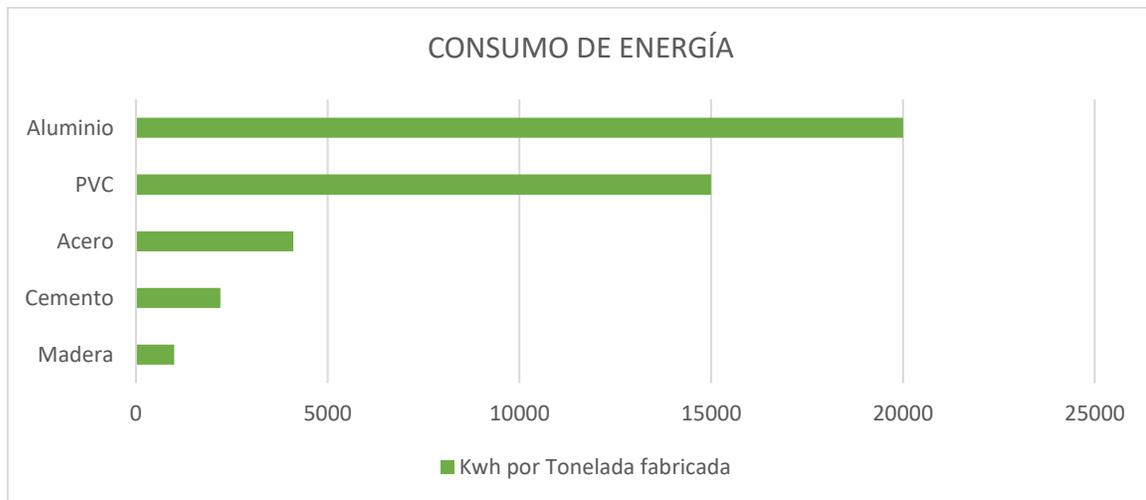
Las fibras estudiadas fueron la fibra de coco, fibra de yute, fibra de algodón, fibra de caña de azúcar, fibra de cáñamo, fibra de lino, y fibra de sisal; ya que según informes de la corporación de artesanía de Colombia son las especies más producidas en la industria y son las usadas para el desarrollo de los principales oficios artesanales (Artesanías de Colombia, 2014). En el análisis comparativo entre las fibras se obtuvo que la fibra con mejor desempeño bajo los parámetros fue la fibra de lino, al tener un bajo consumo de agua en su cultivo y no implementar químicos, ser una materia prima muy abundante y provenir de una fuente renovable, además de disminuir el dióxido de carbono y liberar oxígeno.

Además de estas ventajas en su uso, se resalta que no afecta a otras plantaciones y su obtención es ilimitada debido a su adaptabilidad a diferentes climas. Asimismo, la fabricación de este tipo de tela se ha simplificado, ya que en el proceso se requiere corte y eliminación de la corteza residual hasta obtener fibras de diferentes longitudes totalmente naturales que salen listas para tejer, disminuyendo los impactos negativos al ambiente en comparación a fibras con procesos de fabricación que incluyen químicos y mayores gastos de energía. Por lo tanto, las prácticas limpias respetuosas con la naturaleza resultan haciendo más sostenible el uso del Lino.

Es por ello, que la información obtenida del estudio comparativo de fibras naturales realizado por (Martin Sendra, 2020) determina que la utilización de materiales provenientes de fuentes renovables y de origen natural en comparación a los materiales sintéticos usados para la elaboración de materiales compuestos, permite la reducción de desechos y residuos, a la vez que ayuda a preservar los recursos no renovables. De forma complementaria en el uso de materiales responsivos en el bicapa se emplea la madera, teniendo en cuenta el estudio realizado por el Instituto de Materiales Sostenibles ATHENA™, que compara el impacto ambiental de madera, acero y cemento, obteniendo los siguientes resultados:



Fuente: (Athena Sustainable Materials, 2023)



Fuente: (Athena Sustainable Materials, 2023)

Es evidente la diferencia del consumo de energía entre la madera y el resto de materiales, en donde en relación a la madera, el acero y el cemento “consumen un 26% y un 57% más de energía para su extracción, producción, construcción y climatización de la vivienda; utilizan un 11% y un 81% más de recursos naturales; contribuyen en un 34% y un 81% más a la emisión de gases de efecto invernadero; producen un 24% y un 47% más de contaminación del aire; producen entre 4 y 3.5 veces más descargas contaminantes del agua; y producen un 8% y un 23% más de residuos sólidos, respectivamente.” (Athena Sustainable Materials, 2023).

Es así que en la búsqueda del uso de materiales naturales para la aplicación de procesos higromórficos en el campo de la construcción se plantea la siguiente pregunta de investigación.

1.2 Pregunta de Investigación

¿Cómo basados de la biomímesis a los materiales higromórficos, se caracteriza el comportamiento higromórfico (magnitud de deformación, tiempo de respuesta e integridad estructural) de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Caracterizar desde la aplicación de procesos biomiméticos adaptativos de las piñas de coníferas, el comportamiento higromórfico (magnitud de deformación, tiempo de respuesta e integridad estructural) de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa de la ciudad de Bogotá

2.2 Objetivos Específicos

- Establecer a través de la biomímesis el diseño de un material bicapa de madera y fibra de lino para emular procesos higromórficos de las piñas de coníferas.
- Seleccionar los componentes a ser usados en el bicapa de madera y fibra de lino de acuerdo con las propiedades higromórficas, disponibilidad local y presentación comercial.
- Describir el desempeño (magnitud de deformación, tiempo de respuesta e integridad estructural) de materiales bicapa de madera y fibra de lino en las condiciones de humedad relativa en la ciudad Bogotá.

Materiales como la madera y fibra de lino ofrecen una interacción físico-mecánica, gracias a una reacción biológica natural, a través de la biomímesis como herramienta permite determinar mecanismos en la naturaleza con un tejido estructurado que responden a estímulos ambientales, la inspiración a través de higromorfos naturales proporciona modelos más sostenibles y adaptativos al tener la capacidad de ajustarse de forma pasiva

La selección de los componentes a ser usados en el bicapa de madera y fibra de lino afecta la respuesta del compuesto ya que según las diferentes especies de madera y fibra de lino cambian los índices de higoexpansión, sus espesores y orientación. Aunque las fibras

naturales en varios artículos de estudio habían mostrado debilidad en los compuestos por su alta absorción del agua se convierte en una ventaja en un compuesto de material bicapa

En la descripción del desempeño (Magnitud de deformación, tiempo de respuesta e integridad estructural) de materiales bicapa de madera y fibra de lino en las condiciones de humedad relativa en la ciudad Bogotá, se reafirma la relación entre el espesor de las capas y la rigidez de los dos materiales con la curvatura obtenida, ya que la selección de especies de madera como capa activa al tener una mayor rigidez asociadas a materiales rígidos en capas pasivas de menor espesor como la fibra de lino favorece la respuesta del material bicapa.

3. Metodología

En este capítulo, se presenta el conjunto de procedimientos usados para el desarrollo de la presente tesis, donde se toma la ruta cuantitativa de tipo experimental como método que permite caracterizar el comportamiento de fenómenos, a partir de cambios intencionados en las variables a ser estudiadas. De igual manera, en este proceso de experimentación se adoptan criterios desde el diseño biomimético, que ofrece una descripción de un proceso de diseño que usa la naturaleza como guía para crear soluciones en el sector de la construcción.

3.1 Metodología de Investigación

3.1.1 Cuantitativa Experimental

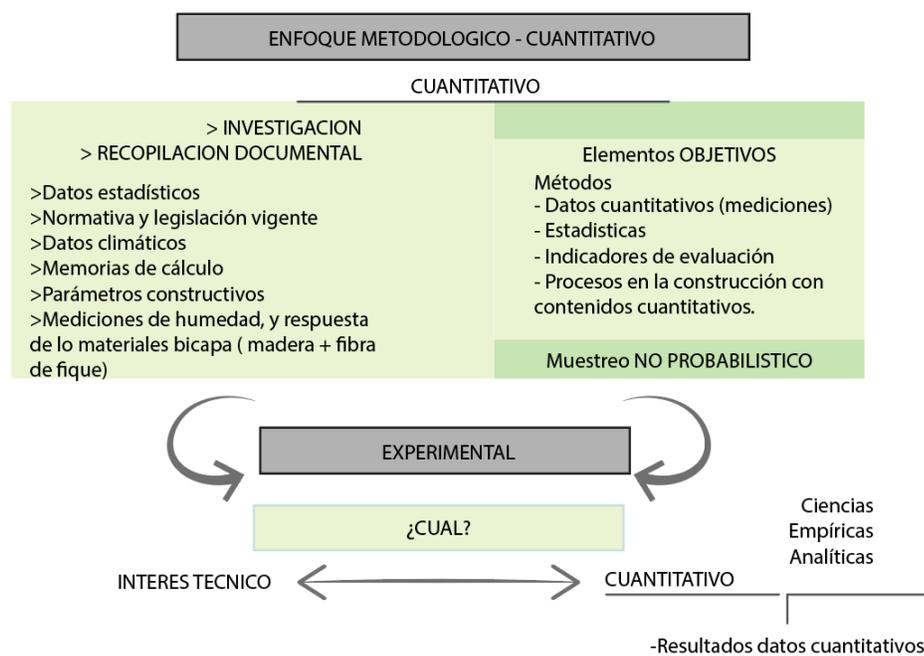
La estrategia que se desarrolla para obtener la información en esta investigación, es cuantitativa de tipo experimental como se ilustra en la **(Figura 1)**, orientada al estudio de relaciones de causalidad entre variables independientes y dependientes. Por ello para la descripción del comportamiento higromórfico de un material bicapa de madera y fibra de lino se parte de las variables de magnitud de deformación, tiempo de respuesta e integridad estructural, enmarcadas en los índices de humedad relativa de la ciudad de Bogotá.

En este sentido, (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018), señalan que:

Una acepción particular de experimento, (...) armónica con un sentido científico del término, se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador (p. 151).

La metodología es cuantitativa al lograr demostrar que los parámetros de diseño basados en la biomimesis en términos de adaptación, generan soluciones constructivas de tipo pasivas en las edificaciones, haciendo uso de materiales naturales como la madera y la fibra de lino. Por tanto, es necesario contrastar variables del material y su respuesta ante los cambios de humedad a través de mediciones numéricas, que permitan caracterizar el comportamiento higromórfico.

Figura 1 Enfoque cuantitativo experimental



Fuente: Elaboración propia a partir de Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa (Cisterna, 2005)

3.1.2 Actividades para la obtención de la información

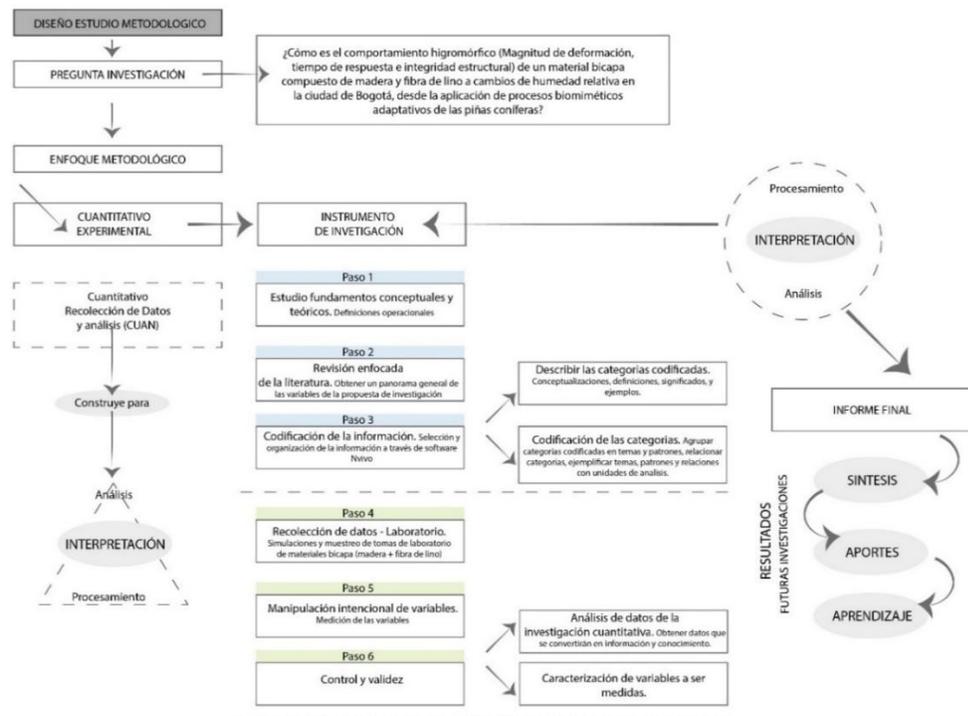
De esta forma, en el diseño del estudio metodológico ilustrado en la (**Figura 2**), la obtención de la información se divide en tres fases. En la primera fase, se busca estudiar los parámetros higromórficos y principios físicos que se pueden retomar de la naturaleza, para mejorar las respuestas de los materiales bicapa. En la segunda fase, se da la selección de los materiales a usar para emular el proceso en el campo de la construcción;

y en la tercera fase, se busca caracterizar la respuesta de este material compuesto según los niveles de humedad.

Dentro de las técnicas utilizadas en esta investigación para la obtención y recolección de información, se refieren las siguientes:

- Recolección y almacenamiento de la información de avances investigativos.
- Selección del material de madera con fibra de lino.
- Registro fotográfico y video de mediciones.
- Descripción de la respuesta a las variables de comportamiento higromórfico.
- Fichas de caracterización las cuales contrastan variables dimensionales y geométricas que componen los materiales bicapa objeto de estudio.
- Matriz de doble entrada donde se ponen en relación directa principios encontrados durante la investigación con las formas abstraídas de la caracterización de las propiedades de la fibra de lino y la madera.

Figura 2 Diseño del estudio Metodológico.



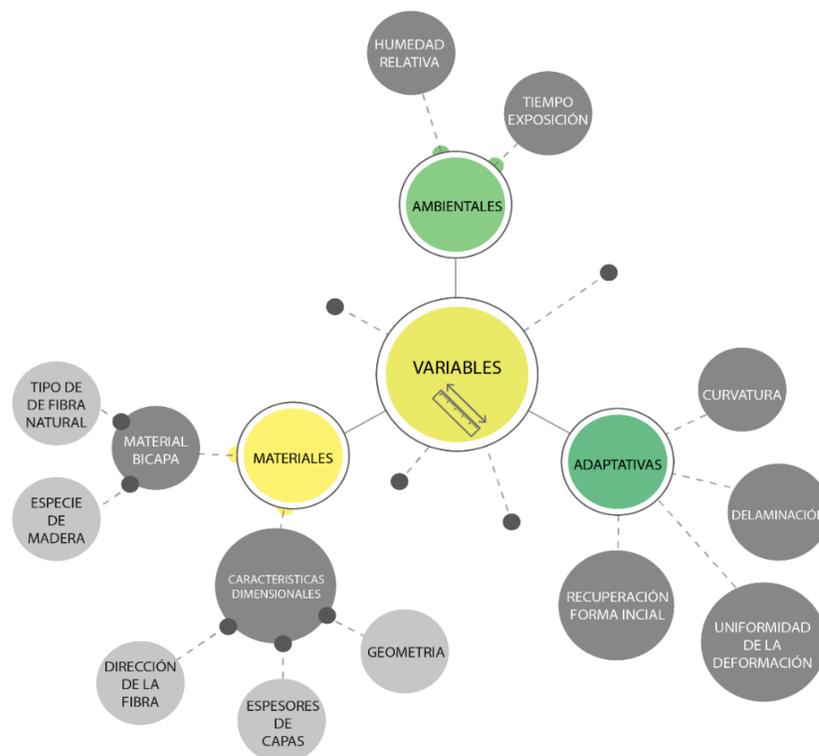
Fuente: Elaboración propia a partir de Metodología de la investigación – Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018)

3.1.3 Variables a medir

Las variables para esta investigación fueron definidas de acuerdo al nivel de operatividad, cuya variación es susceptible de medirse u observarse. En el caso de la biomimesis el empleo de mecanismos y sistemas, determina la consideración de diversos factores tales como la morfología, los materiales, los sistemas mecánicos, el tipo de estímulo de entrada, el tipo de respuesta y las relaciones entre estos. Entendiendo que un sistema biológico es un todo sinérgico que forma parte de una estrategia global de adaptación y sobrevivencia. (Urdinola Serna, 2018, pág. 22).

De esta manera, se establecieron las siguientes variables dependientes e independientes, representadas en la **(Figura 3)**. En las que se distinguen las variables ambientales determinadas por los índices de humedad relativa, variables de los materiales que dependen de la especie de madera y el tipo de lino, la orientación de las fibras de los mismos, y variables adaptativas.

Figura 3 Diseño del estudio Metodológico.

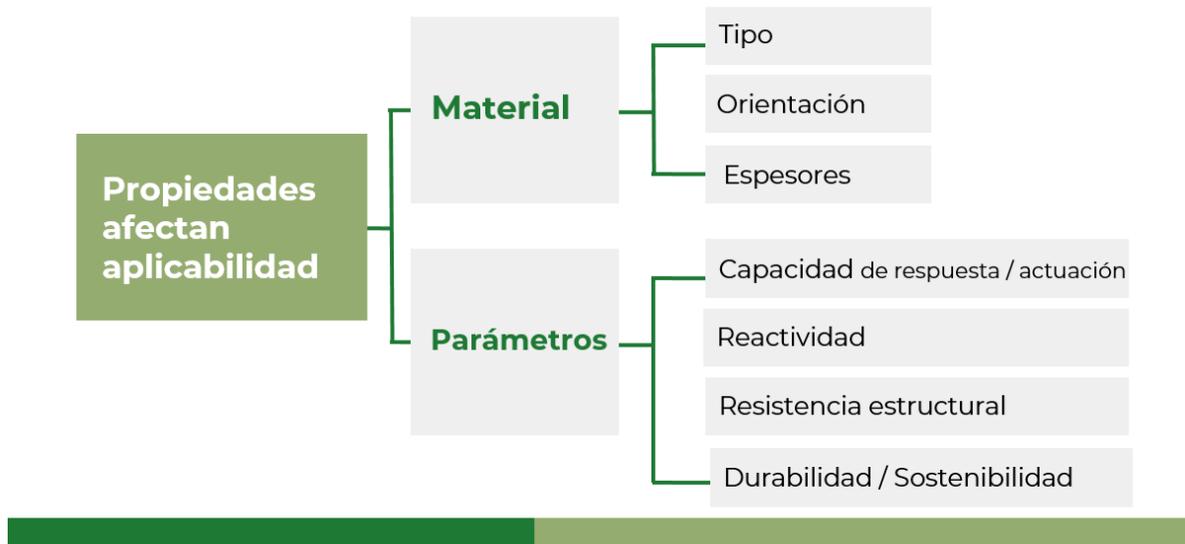


Fuente: Elaboración propia a partir de (Pérez Cabrera, 2019)

Dentro de las variables, se establecen propiedades de aplicabilidad en las configuraciones óptimas del material; donde interviene el tipo, orientación y espesor del material bicapa como se representa en la (**Figura 4**). Así mismo se definen los parámetros que afectan el desempeño del compuesto, como lo es la magnitud de deformación, el tiempo de respuesta, la capacidad de actuación, la integridad estructural y la durabilidad que es entendida como la resistencia a la degradación.

Figura 4 Propiedades que afectan la aplicabilidad del material bicapa

Configuraciones de material óptimas



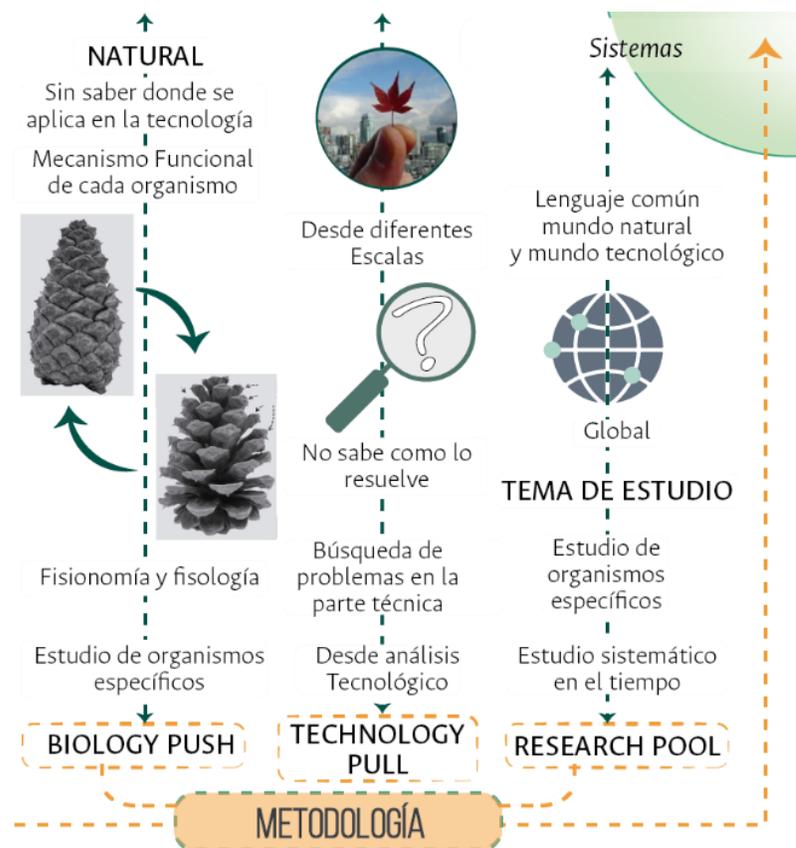
Fuente: Elaboración propia a partir de Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015)

3.3 Diseño Biomimético

A partir de la pregunta ¿Qué pasa si a la metodología de investigación se incorporan conceptos que exploren la abstracción de procesos físicos de las piñas de coníferas, para ser aplicados en la construcción? La Biomimesis, disciplina que estudia la naturaleza como fuente de inspiración, al ser una metodología busca emular los procesos biológicos, que

emplean materia y energía disponibles de forma natural. La aplicación de la biomimesis se desarrolla desde tres metodologías como se representa en la **(Figura 5)**. La primera es el Biology Push que parte de la investigación de los organismos específicos y sus mecanismos funcionales sin saber qué solución tecnológica pueden brindar. La segunda es el Technology Pull, que a partir de un análisis tecnológico se busca problemas para ser solucionados posteriormente en el mundo natural. La tercera es el Research Pool, estudio sistemático del mundo tecnológico y el natural desde la escala global, en una búsqueda de relaciones funcionales que se abstraen y se traducen al ámbito técnico de la construcción.

Figura 5 Metodologías de desarrollo biomimético

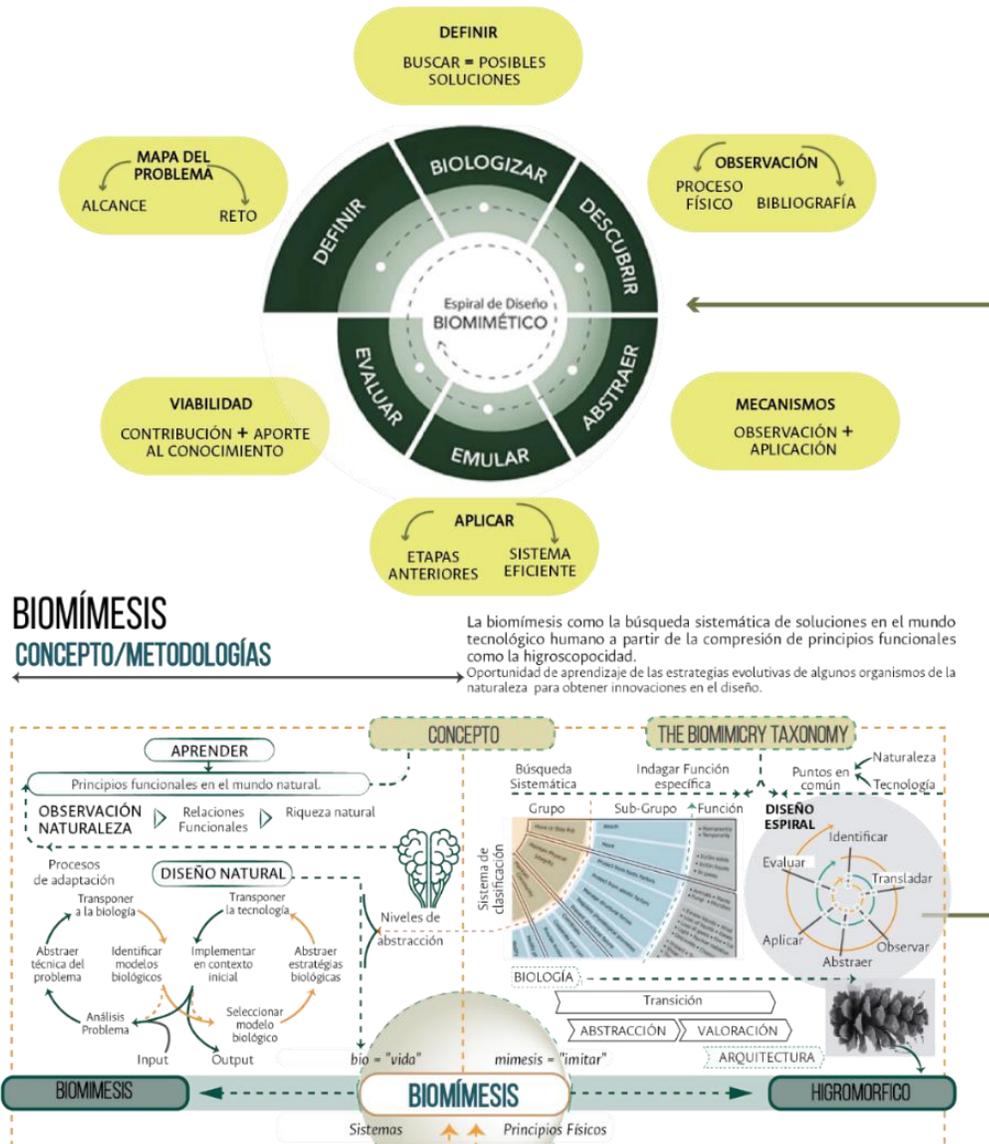


Fuente: Elaboración propia a partir de Arquitectura biomimética y biomimesis (López & González Pueblas, 2020)

Es así como, para la presente tesis se retoma el proceso Biology Push al estudiar el mecanismo funcional de las piñas de coníferas, desarrollándose a través de la espiral del

diseño biomimético estructurada en seis fases como se muestra en la (**Figura 6**). En la primera fase se define el alcance del abordaje que son los materiales que responden a la humedad, en la segunda fase que es biologizar, se identifican las respuestas higromórficas que se han de descubrir en la naturaleza, fase que antecede a la abstracción para emular los procesos físicos en el sector de la construcción.

Figura 6 Aplicación Espiral del diseño biomimético



Fuente: Elaboración propia a partir de La espiral biomimética inspiradora de retos actuales de diseño y soluciones sostenibles innovadoras (Cabrero, Calle, Rodríguez, & Sevilla, 2021)

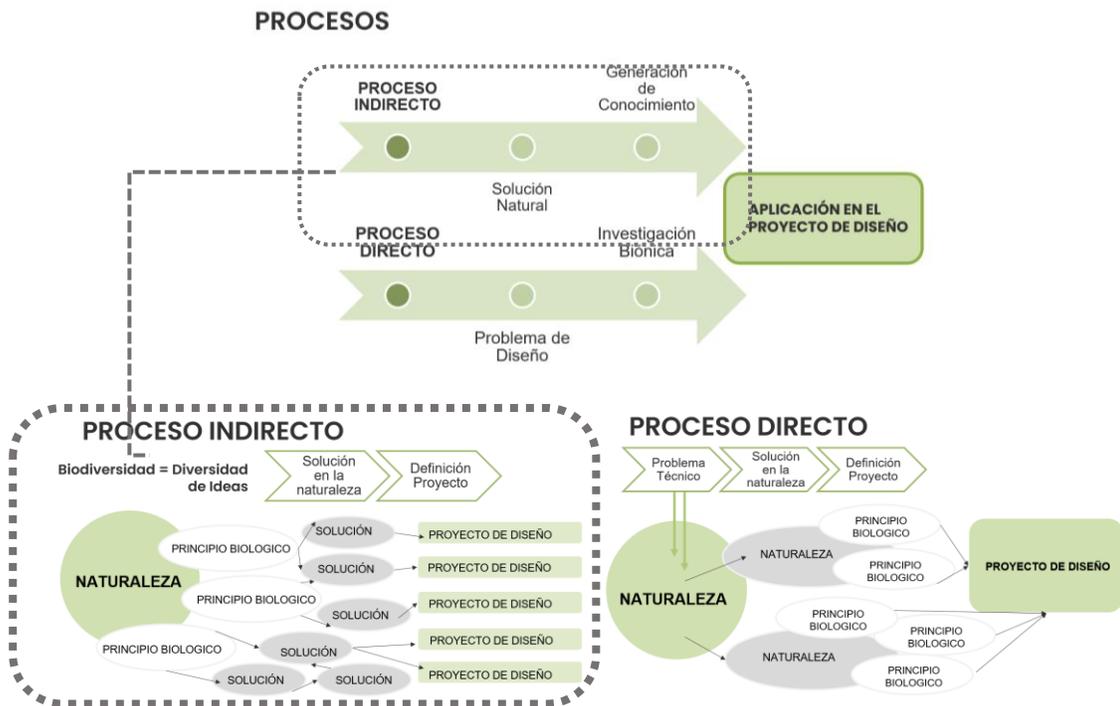
No en vano, la biomimesis ha sido abordada desde la trans_escalabilidad al estudiar y emular las formas, procesos y ecosistemas. Entendida como la búsqueda sistemática de

soluciones en el mundo tecnológico y humano, con la comprensión de principios funcionales de las especies. La escala en la que se hace más hincapié es:

La emulación de la función de la naturaleza: emular la naturaleza a nivel de proceso implica aprender de la forma en que la naturaleza evoluciona o produce cosas. Biomimicry analiza el sistema de nature y examina cómo se ocupa de los residuos y la regeneración dentro de los ciclos de vida de bucle cerrado (Ramzy, 2015)

Ahora bien, dentro de los ciclos del desarrollo biomimético, existen dos rutas para la aplicación de procesos higromórficos que generan movimiento pasivo. A partir de ello se propone el uso de un proceso indirecto "de la biología al diseño" que parte de una solución natural, que toma los procesos físicos para llegar a la generación de soluciones constructivas. **(Ver Figura 7)**

Figura 7 Proceso de aplicación del diseño biomimético



Fuente: Elaboración propia a partir de Modelo metodológico de diseño conceptual con enfoque biomimético (López Forniés, 2014)

4. Marco Teórico

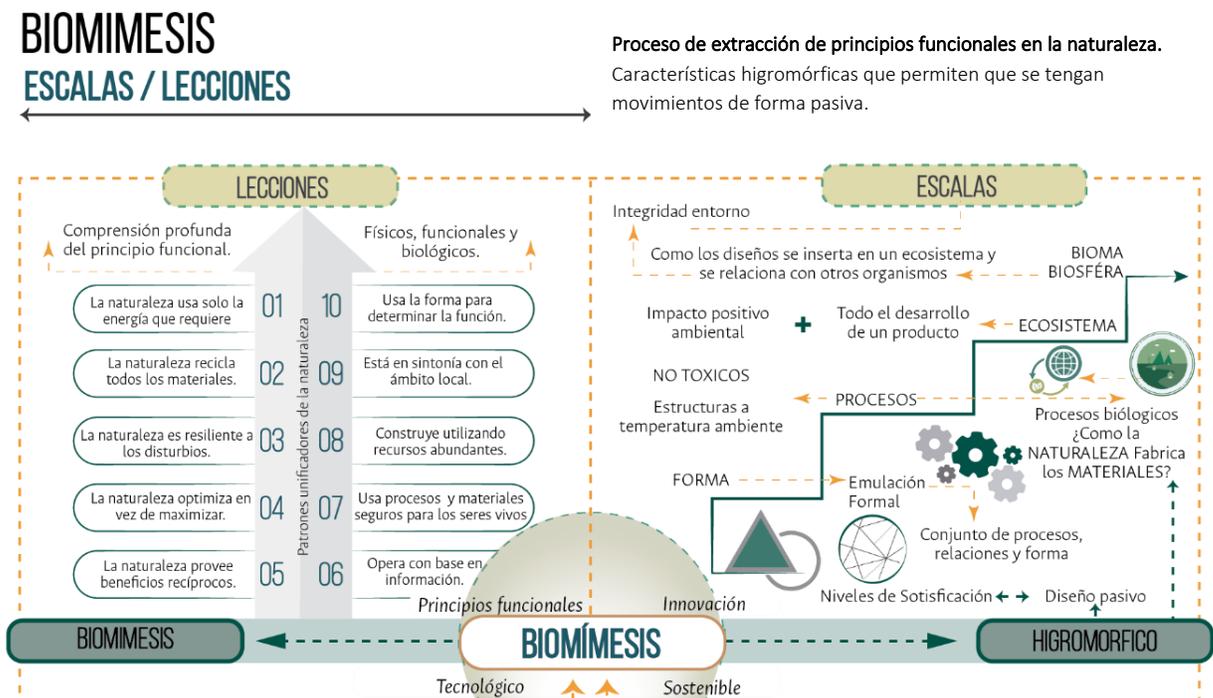
4.1 Biomímesis

Dentro de las claves de las soluciones basadas en la naturaleza se encuentra la Biomímesis, estrategia de investigación en procesos de ingeniería inversa que toma el ecosistema natural y sus organismos como herramienta para determinar su interacción con el entorno. El concepto de Biomímesis, traducción del término original Biomimicry definido por el British English como “la imitación de la vida utilizando sistemas biológicos de imitación” planteado por Otto Schmitt en 1982, y difundido por Janine Benyus desde 1997. Es una oportunidad de aprendizaje de las estrategias evolutivas que han desarrollado algunos organismos de la naturaleza para obtener un máximo rendimiento de sus recursos, protección de amenazas, puntos de orientación, captura de alimento y gestión de cambios medio ambientales, entre otros.

La aplicación de los principios naturales se proyecta al desarrollo tecnológico desde el diseño, más allá de la pura imitación formal proceso atribuido a la biomorfología y el biomorfismo que se enfoca a la riqueza estética. En cambio, la biomímesis busca emular los procesos por medio de la comprensión y abstracción de los modelos biológicos para transponerlos a la tecnología.

La biomímesis como proceso de extracción de principios funcionales de la naturaleza se basa en escalas físicas, funcionales y biológicas (**Ver Figura 8**) que tienen como fin generar un impacto positivo ambiental que es eficiente en la configuración y en el uso de los materiales. Al realizar una comprensión del principio físico higromórfico de las piñas de coníferas se debe estar en sintonía con el ámbito local, usar la forma y las propiedades del material para definir la función, además de ser resiliente frente a los cambios externos.

Figura 8 Escalas y lecciones de la biomimesis



Fuente: Elaboración propia a partir de La Biomimesis: más que una herramienta de inspiración para el Diseño (Sánchez Ruano, 2019)

A partir de la perspectiva de evolución de la biomimesis, las soluciones en la naturaleza permiten mejorar funciones técnicas, mediante el estudio de mecanismos biológicos que dan resolución a las necesidades del entorno. Por tanto, es necesario entender el concepto de biomimesis el cual se describe en la siguiente (Tabla 1):

Tabla 1 Concepto de Biomimesis

Autor	Concepto
Moreno De Luca, Leonardo; Galvis Chacón, María; García, René José	Biomimesis proviene del griego bios, vida, y mimesis, imitación. La biomimesis es el estudio, entendimiento, replicación y adaptación de los principios, métodos y sistemas naturales aplicables a diseños de escala humana, como los pertinentes a la Ingeniería, la Arquitectura y la tecnología. (Moreno De Luca, Galvis Chacón, & García, Enero-Junio 2012)

V., F, Bogatyreva, Bogatyrev, & Anja-Karina, a partir de Otto Schmit.	La transferencia de ideas de la biología a la tecnología, implica la comprensión de las funciones biológicas, estructuras y principios de diversos objetos encontrados en la naturaleza. (V., F, Bogatyreva, Bogatyrev, & Anja-Karina, Fecha de consulta: 29 Agosto. 2020).
Jorge Riechmann	El principio de biomimesis en un sentido más amplio: se tratará, entonces, de comprender los principios de funcionamiento de la vida en sus diferentes niveles (y en particular en el nivel ecosistémico) con el objetivo de reconstruir los sistemas humanos de manera que encajen armoniosamente en los sistemas naturales. La biomimesis es una estrategia de reinserción de los sistemas humanos dentro de los sistemas naturales. (Riechmann, 2003, pág. 28)
Janine M. Benyus	“Todos los problemas que intentamos resolver ya han sido resueltos por la naturaleza durante millones de años de evolución”. Plantea tres grandes enfoques: “La naturaleza como modelo”, “La naturaleza como medida”, y “La naturaleza como mentor. (Benyus, 1997)
Lidia Badarnah	Es la parte en la cual se identifica una estrategia natural relevante y valiosa, donde alguna propiedad física, química o del comportamiento sirve para mejorar una aplicación particular. (Badarnah, 2014)
Juan Camilo Beltrán	Se basa en la explotación de la sabiduría innata del mundo orgánico, que con el tiempo y través de procesos evolutivos ha venido perfeccionando sus mecanismos para solucionar problemas de la manera más sencilla posible, dándole a la humanidad una infinidad de recursos, ideas y referentes para solucionar de sus propios problemas. (Beltrán, 2015, pág. 14)

Fuente: Elaboración propia a partir de los autores citados.

En síntesis, la revisión sistemática sobre biomimesis, evidencia que es un concepto también conocido como biomimética, ciencia que se enfoca en el estudio de la naturaleza, al comprender sus principios de funcionamiento de manera particular hasta llegar al nivel de ecosistema.

En la escala global, la biomimesis es la imitación de los principios biológicos de los ecosistemas y las comunidades ecológicas a partir de patrones de integración en respuesta a los desafíos propios del lugar. Ahora bien, al entender la naturaleza desde la biota como fuente de inspiración de los sistemas organizativos, se transforma en pilar de la biosfera al configurar modelos físicos de funcionamiento natural, ofreciendo soluciones específicas.

Lo descrito ha permitido que la arquitectura y otros campos de investigación emulen modelos de comportamiento basados en la naturaleza, creando tecnología capaz de imitar sus funciones. Estos procesos han sido evolutivos y de gran generosidad al proporcionar diferentes alternativas a la solución de problemáticas particulares.

4.1.1 Bases Teóricas

La teoría de imitar y aprender de principios funcionales del mundo natural trasciende al emular procesos y características físicas aplicables en la construcción. Por su parte, en un proceso emergente, las investigaciones y los proyectos constructivos incorporan determinadas características para ser considerados como biomiméticos.

La biomimesis promovida desde el campo de la biología y filosofía, ha sido tomado como fuente de inspiración desde diversas aproximaciones del diseño. A lo largo de la evolución humana, puede evidenciarse la imitación y análisis de procesos de la naturaleza. Este fenómeno puede observarse desde los cuchillos y lanzas que retoman la forma de dientes de animales para la caza y la defensa, hasta la definición de lo que se conoce como biomimesis.

La biomimesis tiene su origen desde:

“El concepto de diseño bio-inspirado (o diseño inspirado en la naturaleza) ha existido desde la antigüedad. Podemos remontarnos incluso a los primeros intentos de Leonardo Da Vinci en el siglo XV por diseñar artefactos que imitaban funciones animales como, por ejemplo, la máquina voladora (imitando pájaros e insectos).” (Sierra, 2019).

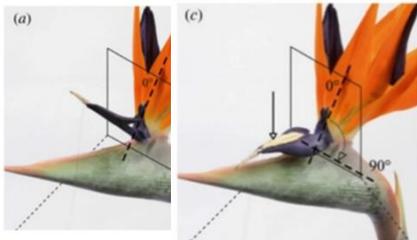
Siendo claro que la biomimesis ha estado presente desde las primeras interacciones del ser humano con la naturaleza, y que gran parte del desarrollo de infraestructura ha sido gracias al aprendizaje de la misma. Como resultado de tecnología bio-inspirada, se resalta el valor intrínseco de la aplicación de la biomimesis en el sector de la construcción a través de procesos que hagan uso eficiente del material, y tengan consumos de energía moderados y renovables, al estar inspirados en la observación de mecanismos físicos naturales.

Dentro de las propiedades del enfoque biomimético, se resalta la capacidad de regulación de factores ambientales, térmicos, táctiles, acústicos, y lumínicos, que propenden por satisfacer las necesidades de un medio y se adaptan a los cambios.

4.1.2 Aplicaciones Biomiméticas como Referentes

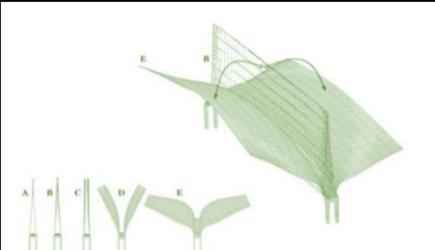
Los modelos biomiméticos a través del tiempo han expresado su forma e interacción con el entorno. Su objetivo ha sido mejorar la eficiencia energética, protección y confort por medio de características adaptativas basadas en principios de físicos, que plantean una adaptabilidad al cambio continuo del ambiente. A continuación (**Ver Tabla 2**), se muestra un conjunto de soluciones como referentes de aplicación, entre ellos el pabellón “hygroskin”, el cual se inspira en los movimientos de los conos de abeto debido a los cambios de humedad.

Tabla 2 Proyectos representativos– biomimesis

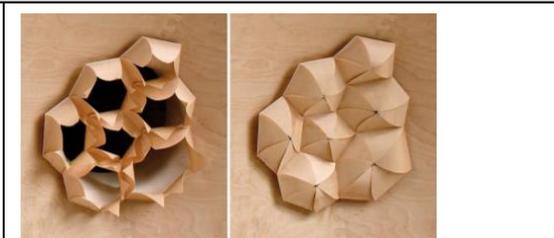
Organismo	Mecanismo de abstracción	Aplicación en el diseño
FLECTOFINA		
Geometría de la planta "Strelitzia Reginae" en la época de polinización	 <p>Transformación de la geometría de la planta "Strelitzia Reginae" en la época de polinización. Tomado de: (Huerta de Fernando, 2017)</p>	 <p>Flectofin por ITKE Tomado de: (Peinado Lorca, 2019)</p>

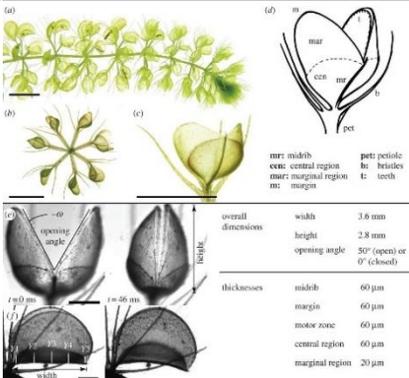
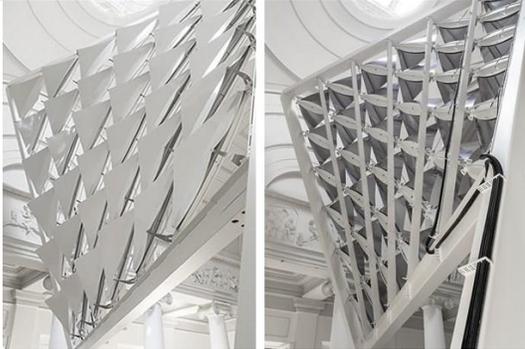
	<p>Inspiración en la flor de pájaro y los cambios en los periodos de polinización, al curvarse cuando llegan las aves y se posan sobre ellas. “Esta curvatura ha sido el principio extraído del fenómeno biológico, para control de la luz sin necesidad de introducir articulaciones metálicas.” (Riechmann, 2003).</p>	<p>“Sistema de lamas sin bisagras, capaz de desplazar su aleta 90 grados induciendo tensiones de flexión en la columna vertebral causadas por el desplazamiento o cambio de temperatura en la lámina. (Universidad de Stuttgart, s.f.)</p>
--	--	--

PABELLÓN TEMÁTICO ONE OCEAN

<p>Inspirado en movimiento nástico de las plantas</p>	 <p>Desarrollo sistema “Flectofin” Tomada de: (Huerta de Fernando, 2017)</p>	 <p>Pabellón “One Ocean” exposición 2012, Corea del Sur. Tomada de: (Huerta de Fernando, 2017)</p>
	<p>Los movimientos de las plantas son inducidos por estímulos ambientales: entre ellos la luz, condicionante absoluto del desarrollo de la planta, bajo el control de estímulos externos. (Sotelo 2015)</p>	<p>“Sistema de envolvente adaptativa inspirado en los movimientos de las plantas y mecanismos cinemáticos. Un sistema de sombreado, puede adaptarse a las condiciones de luz.” (Universidad de Stuttgart, s.f.)</p>

PABELLÓN METEORO SENSIBLE: HYGROSKIN

<p>MOVIMIENTO DE LOS CONOS DE ABETO, DEBIDO A LOS CAMBIOS DE HUMEDAD.</p>	 <p>Apertura y cierre de piñas de coníferas. Tomado de: (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015)</p>	 <p>Fachada del Proyecto "Hygroskin", Universidad ICD de Stuttgart Tomado de (Huerta de Fernando, 2017)</p>
	<p>Apertura y cierre de piñas de coníferas productoras de semillas. En condiciones secas, las escamas de los conos de coníferas que contienen semillas se doblan. Si los conos caídos se exponen a un ambiente húmedo se cierran de nuevo y esta capacidad de respuesta reversible se retiene durante un gran número de ciclos.</p>	<p>“Utiliza la humedad relativa como un disparador verde para interactuar con el medio ambiente. La inestabilidad dimensional de la madera con respecto al contenido de humedad se emplea para construir una envolvente sensible a la intemperie que se abre y cierra de forma autónoma en respuesta a los cambios climáticos” (Universidad de Stuttgart, s.f.)</p>

	(Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015)	
FLECTOFOLD		
Refrigeración Evaporativa	 <p>Lineas curvas de Aldrovanda vesiculosa Tomada de: (Peinado Lorca, 2019)</p>	 <p>FLECTOFOLD: Un sistema de construcción biomimético: Tomado de (Universidad de Stuttgart, s.f.)</p>
	<p>El mecanismo cinético se ha desarrollado después de analizar la planta carnívora submarina Aldrovanda vesiculosa, que utiliza el plegado de líneas curvas para propagar la deformación por flexión de una costilla media más rígida en dos lóbulos, conectados simétricamente con bisagras vivas. (Alemania, 2016-2017)</p>	<p>El elemento de sombreado de fachadas Flectofold consta de dos aletas y una columna vertebral. Aquí, la deformación por flexión de la columna vertebral implica el aleteo de las aletas debido al acoplamiento cinemático a lo largo de los pliegues curvos. La imagen muestra una instalación de Flectofold en el museo de historia natural de Stuttgart. (Correa, Mi lo Maryland, Bruchmann, & Menges, 2020)</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de los autores citados.

4.1.3 De la Biomimesis a los materiales higromórficos

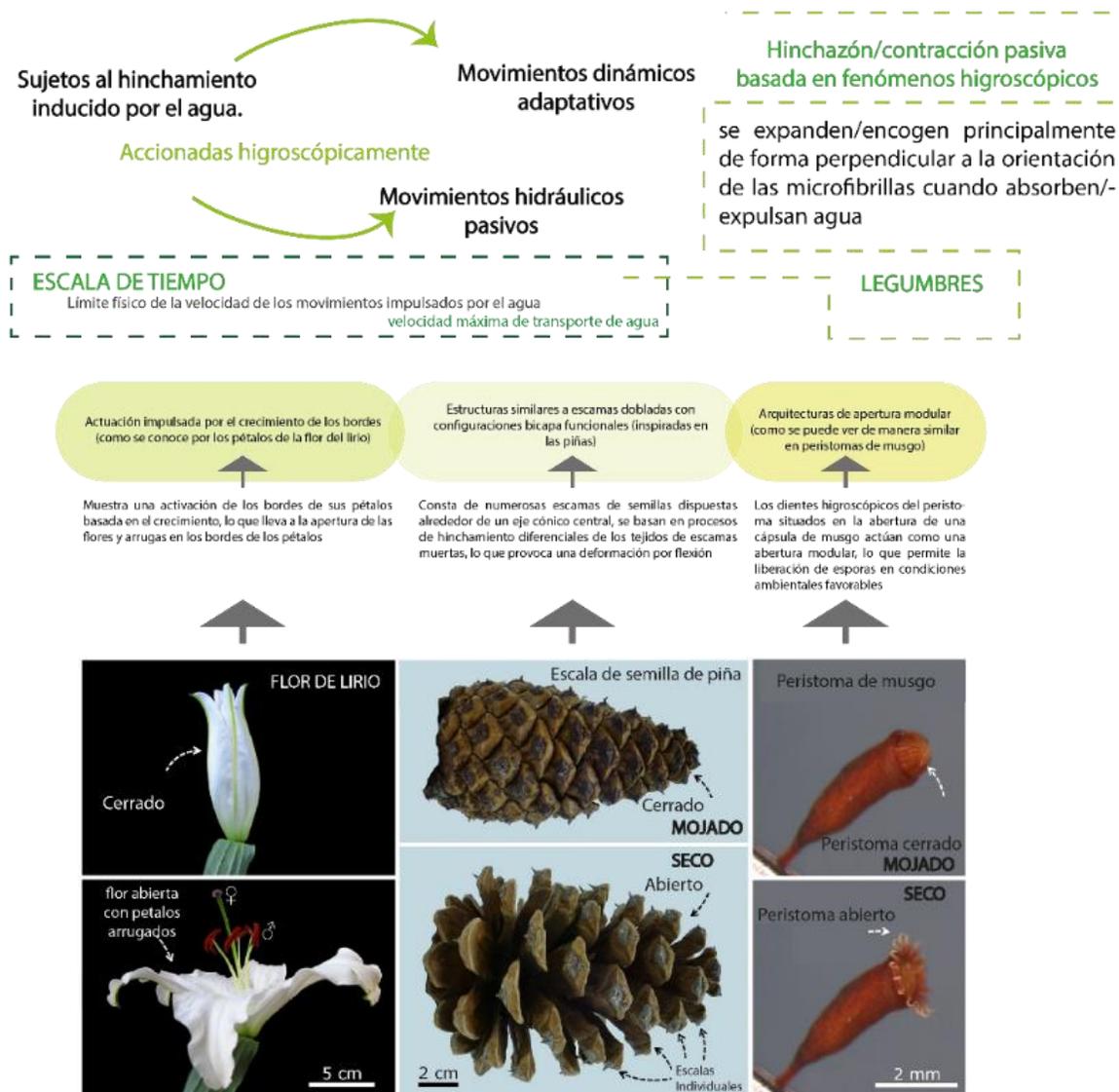
En la naturaleza se han perfeccionado estrategias sensibles a los cambios de humedad, como el movimiento de las plantas, entre ellas las piñas de coníferas, que tienen cambios dimensionales ante las variaciones de humedad. Por tal razón, la presente investigación retoma la hinchazón y contracción pasiva basada en fenómenos higromórficos, presentada por algunas plantas como mecanismo aplicable a materiales en el sector de la construcción.

Al respecto, se muestran mecanismos que pueden realizar múltiples movimientos generados por los desplazamientos de agua, que dependen de los cambios externos. Estos fenómenos se logran analizar desde el estudio del comportamiento en especies

como la flor de lirio, el peristoma de los musgos y las piñas de coníferas; que son ejemplos físicos de aplicaciones a materiales activos accionados por el agua contenida en la humedad. Es por este motivo que, a través de la abstracción de los procesos físicos se logra dar solución a problemáticas ambientales que a su vez son más sostenibles.

Para ilustrar se presentan los fenómenos encontrados, en la **(Figura 9)**

Figura 9 Fenómenos físicos/higromórficos estudiados en la naturaleza



Fuente: Elaboración propia a partir de Plant Movements as Concept Generators for the Development of Biomimetic Compliant Mechanisms (Poppinga, Correa, Bruchmann, Menges, & Speck, 2020)

A manera de caso de estudio se puede observar el sistema reactivo a la humedad que tienen las piñas de coníferas. Estas presentan cambios generados por estímulos externos que no alteran la estructura del material gracias a sus propiedades anisotrópicas e higromórficas. Lo descrito permite que los movimientos sean reversibles y tengan una apertura y cierre de manera cíclica.

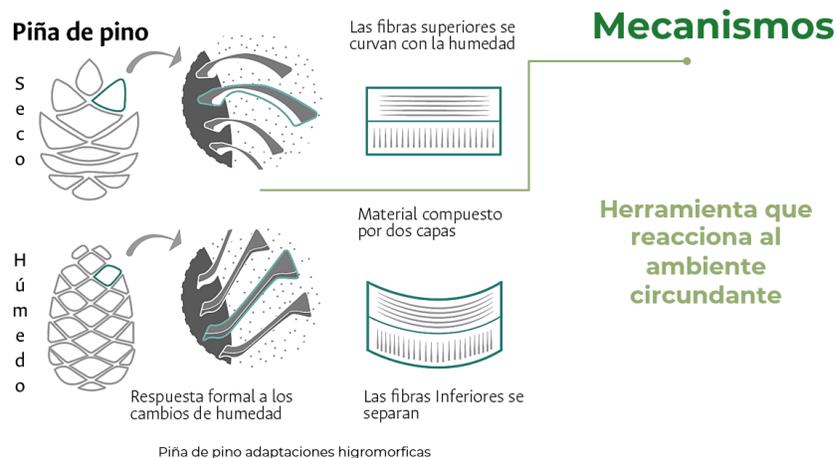
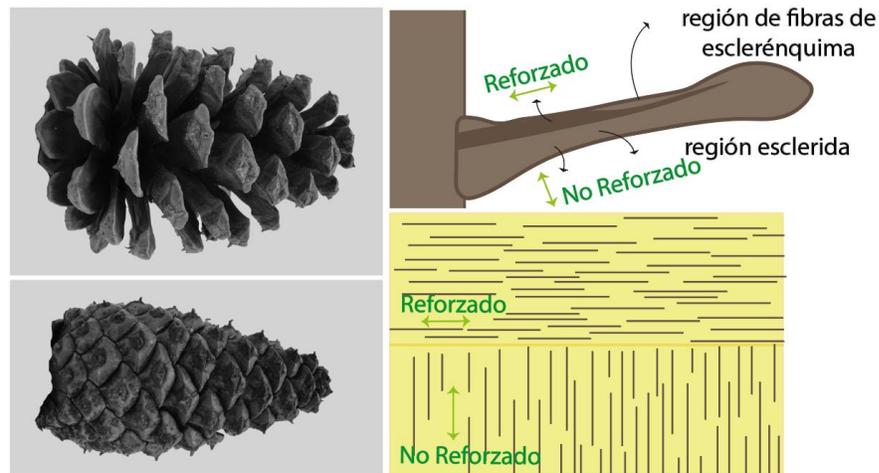
La deformación geométrica de la escala se logra a través de dos capas de fibras diferentes; la capa externa consiste en células paralelas, largas y densamente agrupadas de paredes gruesas, mientras que la capa interna de la escama de la semilla posee fibras de esclerénquima diferenciadas con fibrillas de celulosa en un ángulo mayor (parte superior) y un ángulo menor (parte inferior) en relación con el longitudinal eje. A través de la expansión y contracción, el material realiza la deformación autónoma pasiva. (Steffen, Achim, & David, 2015) **(Ver Figura 10)**

En el análisis de las piñas de conífera, se observa que las respuestas formales a los cambios de humedad se deben al material bicapa conformado por mecanismos con o sin refuerzo. Esto quiere decir, que en su microestructura las fibras superiores se curvan ante la humedad, mientras que las inferiores se separan. Tal como se expone:

Cuando son sometidas a variaciones de humedad relativa, sus escamas reaccionan como sensores, cerrándose si el nivel de humedad aumenta y abriéndose si disminuye, para evitar la dispersión a corta distancia de las semillas provocada por la lluvia. La estructura de doble capa de las escamas hace que se doblen: las escamas están compuestas por dos tejidos diferentes, que absorben/expulsan agua cuando aumenta/disminuye la humedad relativa, respectivamente. Mientras que la capa activa, que tiene un mayor coeficiente de expansión higroscópica, reacciona fuertemente al gradiente de humedad, la capa pasiva, con un coeficiente más bajo, responde menos, por lo que la escala se dobla en lugar de expandirse linealmente. (Pelliccia, y otros, 2020).

Como resultado de la orientación de las microfibrillas se obtiene la variable dependiente que induce a movimientos de apertura y cierre, presentado a continuación:

Figura 10 Caracterización de las piñas de coníferas



Fuente: Elaboración propia a partir de termorregulación natural en espacios cerrados con base en el mecanismo de las piñas de coníferas (Rayo & Vidal, 2016)

A partir de este mecanismo, se propone emular el proceso de las piñas de coníferas en el campo de la construcción, para configurar sistemas pasivos de apertura y cierre que son activados gracias a los cambios de humedad. A fin de optimizar el consumo de energía, mediante el aprovechamiento de las propiedades físicas de los materiales a usar.

5. Componentes material bicapa con respuesta higromórfica

5.1 Material bicapa

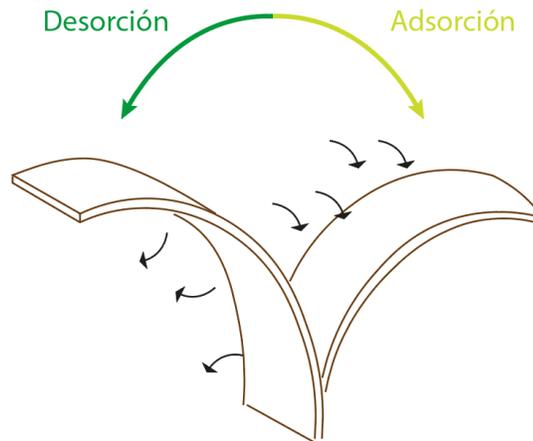
Se habla de materiales bicapa, ya que desde la biomimesis se logra identificar que algunas estructuras de las plantas cuentan con dos capas, accionadas por los cambios de humedad. Tal es el caso de las escamas de las piñas o las aristas de trigo silvestre que al revelar estructuras bicapa logran utilizar la naturaleza higromórfica de los tejidos vegetales. Al combinar dos capas con diferente orientación de las microfibrillas de la celulosa, se logra una flexión debido a los cambios ambientales de humedad relativa.

Estas capas pueden ser traducidas a una capa activa y una pasiva, que al escalar genera una respuesta higromórfica. En esta investigación, se traslada este proceso a través del uso de una capa de madera y otra de fibra de lino, con el objetivo de estudiar las posibles combinaciones según el tipo de especie y textil, y las matrices de unión. A fin de evaluar los ciclos de adsorción y desorción (**Ver Figura 11**), además de sus cambios dimensionales.

Conviene precisar que debido a que según los tipos de material que se empleen, las propiedades mecánicas son diferentes, y dependen de la dirección en la que se disponga, ya sea en sentido transversal o longitudinal. “De este modo, una bicapa funciona como un elemento activo (motor), cuya flexión conduce a una rotación adicional del otro elemento bicapa (pasivo)” (Vailati, Bachtiar, Hass, Burgert, & Rüggeberg, 2018). Es así que, dentro de la investigación se ha de abstraer la configuración de la bicapa de las piñas, con dos

materiales de expansión distinta en función de la humedad, identificando qué tiempo tarda en volver a su estado original, y si mantiene la integridad el compuesto.

Figura 11 Capa pasiva y activa en las piñas de coníferas



Capa activa VS. Capa pasiva

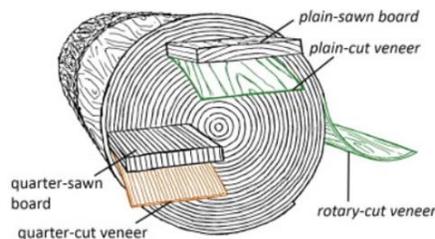


Imagen Tomada de: (Holstov et al., 2015)

Higroexpansión tangencial

Es la que genera la respuesta de deformación (Holstov et al., 2015).

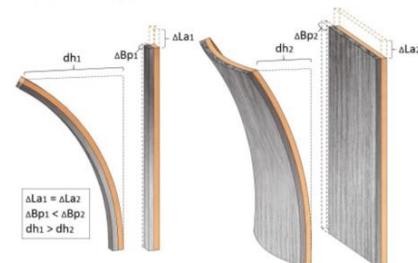


Imagen Tomada de: (Holstov et al., 2015)

Higroexpansión bidireccional

Amplifica los efectos del movimiento

Fuente: Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015)

Al emplear el principio de bicapa, la capa activa presenta una mayor reacción ante la humedad debido a que es mayor su coeficiente de higo expansión, a diferencia de la capa pasiva que es menor, lo que genera una curvatura en el movimiento higromórfico. Debido a ello se propone el uso de la madera como capa activa ya que “se distingue por los cambios dimensionales comparativamente grandes que resultan de las variaciones en su

contenido de humedad (higromorfia) y una combinación de otras propiedades beneficiosas que incluyen flexibilidad y bajo peso. Por lo tanto, la madera es muy adecuada para su uso como capa activa de un compuesto higromórfico” (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015).

Dentro de las investigaciones se encontró prevalencia por el uso de la madera de Haya:

“La madera de haya tiene una densidad media de unos 710 kg/m^3 y presenta una estructura microscópica caracterizada por una porosidad difusa y una buena permeabilidad tanto en albura como en duramen. Todas estas propiedades permiten la adsorción/desorción de una cantidad significativa de agua de saturación y un tiempo de respuesta rápido.” (Rüggeberg & Ingo, 2015)

En el caso de la **CAPA PASIVA**, presenta mayor estabilidad dimensional al ser la encargada de “evitar las deformaciones de la capa activa, forzando su flexión. Las especies no son tan importantes, pues la diferente orientación en capa activa y pasiva es la principal responsable de la deformación compuesta” (Rüggeberg & Ingo, 2015)

5.2 Propiedades del material bicapa que afectan la aplicabilidad- respuesta higromórfica

Al abordar los materiales bicapa en su respuesta sensible a los cambios ambientales como la humedad, las principales propiedades que permiten cuantificar la dinámica histerética del movimiento según (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015) es “el comportamiento de los compuestos higromórficos de dos capas está determinado por varios factores que interactúan, incluida la elección del material para cada capa, sus espesores y orientación, el tipo de unión y las condiciones iniciales de producción”

Para comprender la flexión de equilibrio del bicapa de madera y fibra de lino, se toma la teoría de los termostatos bimetálicos (Timoshenko1925), para medir la fuerza-desplazamiento generados por los cambios de humedad, donde se tienen como variables

los espesores de la capa activa y capa pasiva, los módulos de Young (rigidez), y los coeficientes de higroexpansión de cada una de las capas del material, tal como se muestra a continuación (Ver Figura 12):

Figura 12 Propiedades de materiales bicapa con respuesta higromórfica

Relaciones óptimas



- Capacidad de respuesta
- Resistencia estructural
- Módulo de Young
- Relación inversa entre el grosor total de los compuestos y su capacidad de respuesta
- Velocidad de absorción y transporte de agua en la madera

Respuesta preprogramada

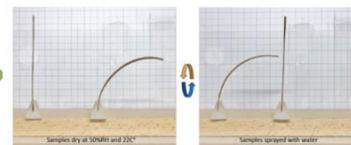
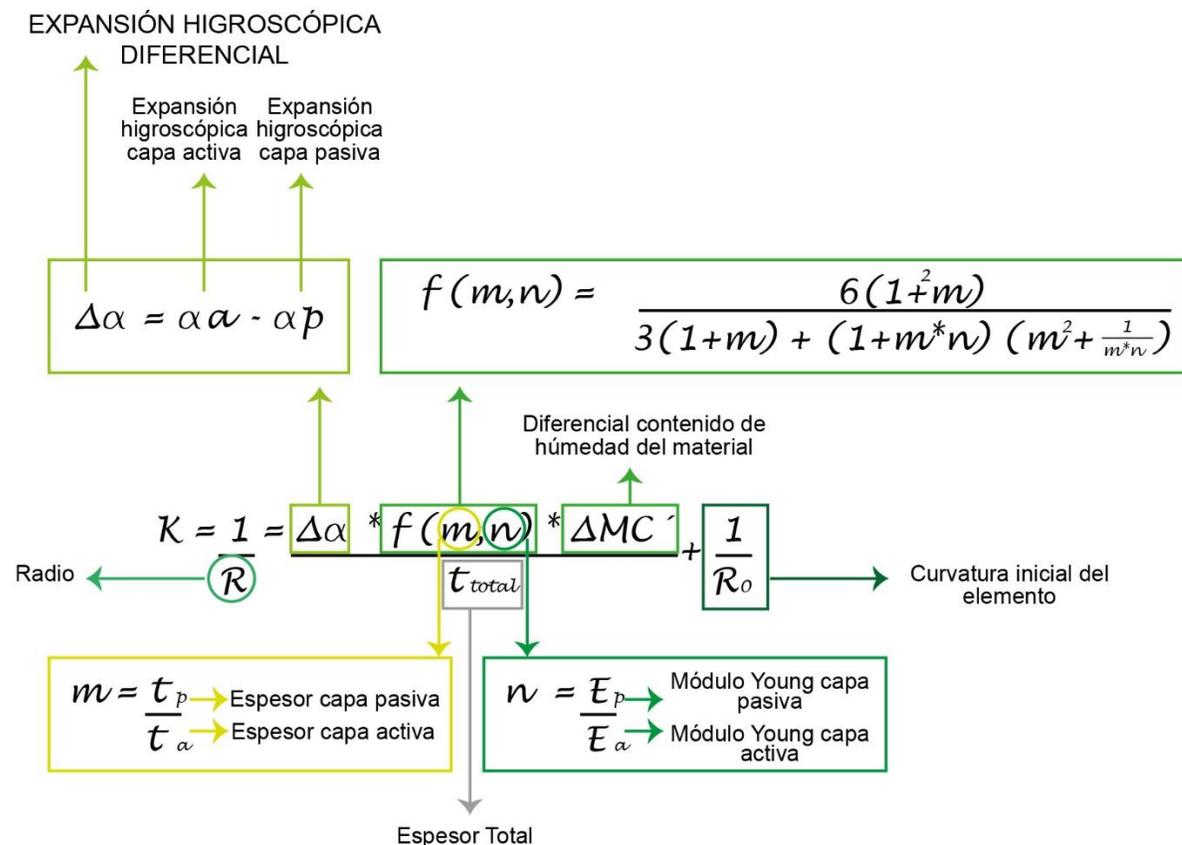


Imagen Tomada de: (Holstov et al., 2015)

Respuestas diferentes por ajustes de contenido de humedad

Resinas epoxi

Selección del método de unión



Fuente: (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015)

Con base en las relaciones óptimas entre las capas que componen el compuesto, el presente estudio explora las propiedades físico-mecánicas del bicapa de madera y fibra de lino, en donde se tendrá presente la magnitud de deformación (capacidad de respuesta), el tiempo de respuesta (la reactividad), la capacidad de actuación (determinada por la fuerza producida como resultado de la respuesta) y la integridad estructural (capacidad de soportar cargas aplicadas sin deflexión excesiva y daños irreversibles). Tal como se muestra a continuación:

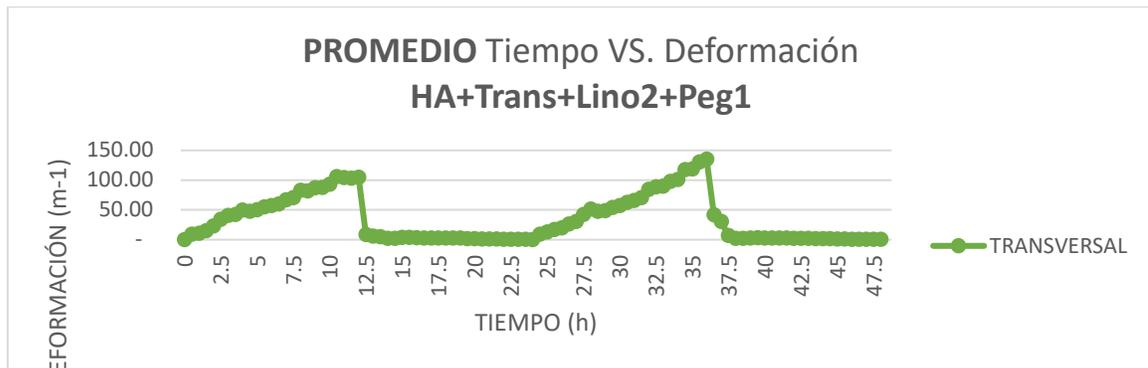
5.2.1 Magnitud de deformación

La magnitud de deformación hace referencia a los cambios dimensionales resultantes de las variaciones de contenido de humedad en los compuestos bicapa, estos cambios de geometría son medidos por medio de la curvatura K , antes explicada en la **(Figura 12)**, que corresponde al inverso del radio de la curvatura, y depende de la “diferencia entre la higoexpansión de las capas, las relaciones entre su rigidez y espesor (n y m correspondientemente), el espesor total del material compuesto (t total), y la curvatura inicial del elemento ($1/R_0$)” (Holstov, Farmer, & Bridgens, Sustainable Materialisation of Responsive Architecture, 2017).

5.2.2 Tiempo de respuesta

La aplicabilidad del material se da por su rapidez de respuesta, es decir la velocidad con la que responde a ciclos de adsorción y desorción medidas en rango de tiempos determinados (cambios horarios, diarios o mensuales); que dependen de la permeabilidad de las capas, su grosor y compuestos. En el estudio de láminas de madera, se determina que al entrar en un punto de saturación muestra una curvatura uniforme que disminuye en las etapas de secado.

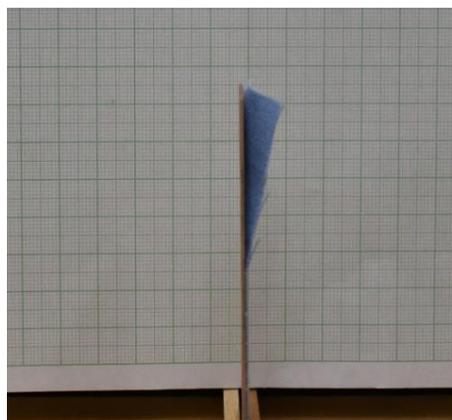
Tal como se observa en el promedio de tiempo vs. la magnitud de deformación de la probeta **HA+Trans+Lino2+Peg1** (Ver **Figura 13**), la máxima deformación se presenta en menor tiempo en el según ciclo, al estar inducida por la deformación del primer ciclo; además de ello, en el caso de los ciclos de secado, es menor la rapidez de recuperación del estado inicial en comparación a las etapas de saturación, debido a la presencia de agua superficial.

Figura 13 PROMEDIO Tiempo VS. Deformación HA+Trans+Lino2+Peg1

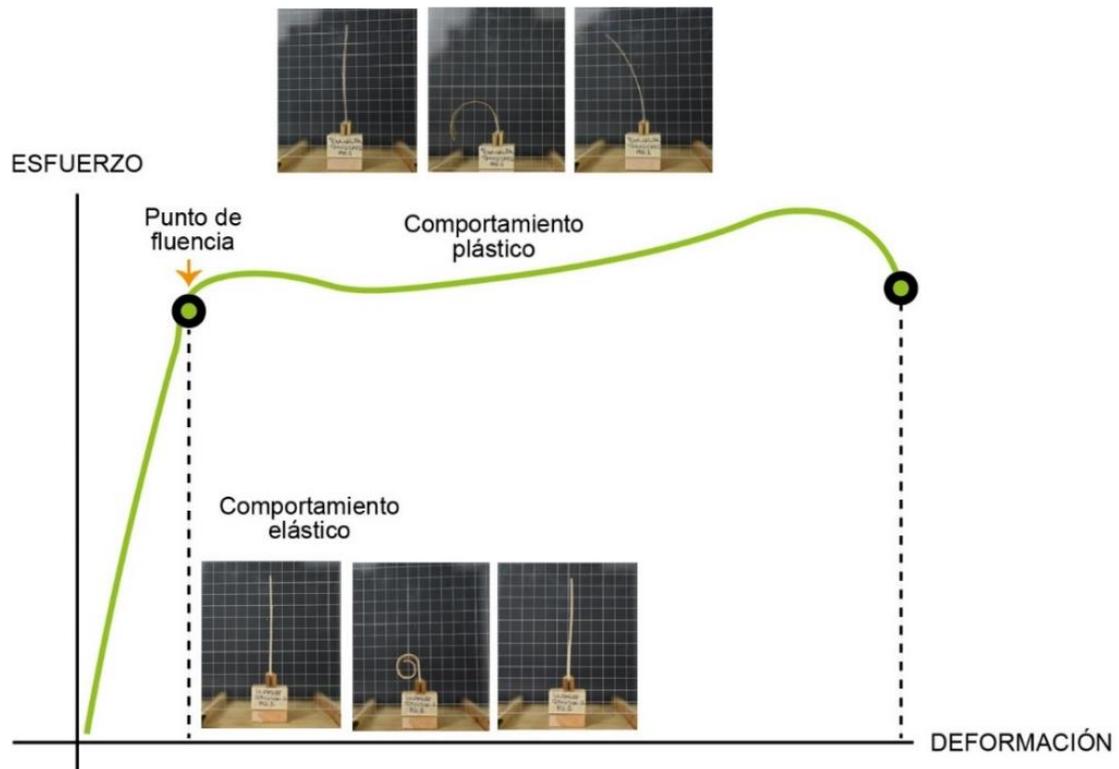
Fuente: Autor

5.2.3 Integridad estructural

La integridad estructural definida por Holstov como la capacidad para soportar las cargas aplicadas sin deflexión excesiva y daños irreversibles, es la que determina la resistencia que tiene el compuesto ante los cambios de humedad, es decir que pueda recibir los cambios dimensionales antes de llegar a la rotura o delaminación. El presente caso de estudio se enfoca en la delaminación, presentada en la interfaz de unión al no mantener la adherencia del compuesto tras generarse el diferencial de la magnitud de deformación entre las capas (**Ver Figura 14**). Además, de estudiar que combinaciones de bicapa mantienen la capacidad de recuperar su estado inicial a través de varios ciclos de humedad, al mantenerse dentro del límite elástico que es la tensión máxima que un material puede soportar antes de entrar al rango plástico que genera deformaciones permanentes. (**Ver Figura 14**).

Figura 14 Delaminación

Fuente: Autor

Figura 15 Rangos de comportamiento

Fuente: Autor

5.3 Atributos de selección del compuesto

El comportamiento ambiental de los insumos y servicios usados en la construcción se identifica a partir de la extracción, la fabricación, el proceso de transporte y su fase de operación. Particularmente los materiales naturales y orgánicos como la madera y la fibra de lino tienen un mejor desempeño al provenir de una fuente renovable y eco-eficiente que se traduce en menos costes energéticos y reducción de impactos ambientales. Es un factor de intervención que da mayor sostenibilidad, ya que las cargas ambientales son la base en la formulación de soluciones como aporte a la economía y al equilibrio del ambiente en consonancia con las relaciones sociales. Es por ello, que la construcción es un sector productivo por intervenir, debido a los altos índices de producción y transporte de materiales convencionales y emisiones contaminantes.

Para la presente investigación se seleccionó la madera y la fibra de lino, debido a que son insumos locales y de fácil acceso comercial, facilitando la realización de los trabajos de laboratorio. Es así que se da la aplicación en el campo de la construcción, al buscar contribuir con materias primas respetuosas con el ambiente desde su extracción hasta el retorno a la tierra.

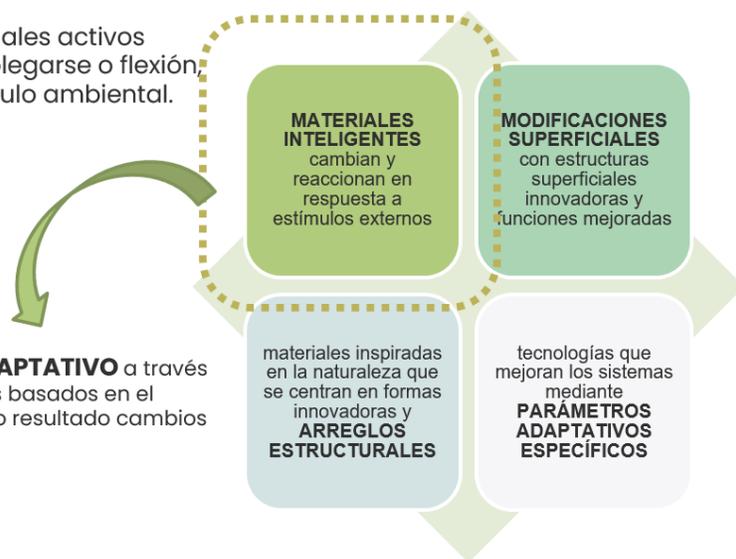
De igual forma, dentro de los criterios para la selección del material, se establece como punto de partida el uso de materiales activos con capacidad de responder a estímulos ambientales, entendidos desde el carácter biomimético como materiales adaptativos como se ve en la (**Figura 16**), que a partir de un factor externo tienen la suficiencia de convertirse en actuadores. Los atributos de estos materiales se enriquecen gracias a su configuración y el aprovechamiento de sus propiedades físicas, tendiendo la cualidad de transformarse según los niveles de humedad. Es de indicar que facilitan el comportamiento adaptativo basado en el movimiento y el estímulo ambiental.

Figura 16 Comportamiento adaptativo como atributo de selección

PROPIEDADES

Deformación de materiales activos capaces de estirarse, plegarse o flexión, dependiendo del estímulo ambiental.

COMPORTAMIENTO ADAPTATIVO a través de mecanismos dinámicos basados en el movimiento, que dan como resultado cambios en la configuración.



Fuente: Elaboración propia a partir de Biomimetic building skins: An adaptive approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews, (Al-Obaidia, Azzam, Hussein, & Malik, 2017)

5.4 Compuestos Naturales

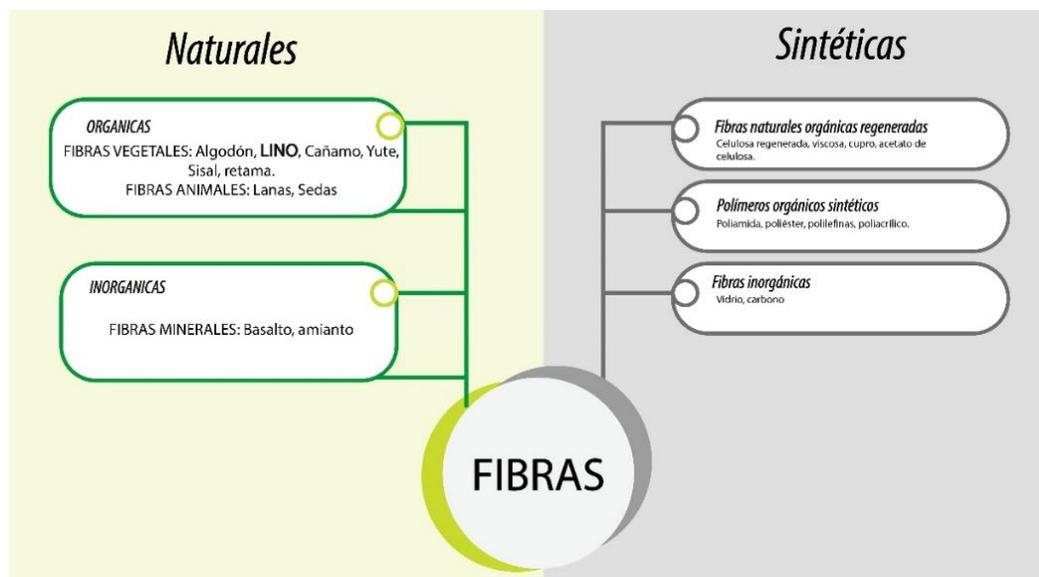
5.4.1 Lino

El uso de las fibras textiles se ha convertido en una alternativa de interés por el diseño ecológico, donde se incluyen fibras naturales y sintéticas tal como se observa en la **(Figura 17)**. Dicho uso se da a partir de recursos renovables, que tienen como característica fundamental la adaptabilidad ante diferentes necesidades, además de representar una contribución medioambiental. “Su flexibilidad durante el procesamiento, rigidez altamente específica y bajo costo (sobre una base volumétrica) haciéndolos atractivos para los fabricantes”. (Faruk O. , Bledzki, Fink, & Sain, 2012)

El potencial de las fibras naturales radica en la biodegradabilidad, la absorción de la humedad, además de ser recursos renovables por excelencia.

Otros factores que resaltan las bondades de las fibras naturales son: disponibilidad, baja densidad, facilidad de separación, alta dureza, buena resistencia a la corrosión natural, bajo costo, buenas propiedades térmicas, reducción de la irritación cutánea y respiratoria, menos desgaste de los equipos en el procesamiento, renovación y biodegradabilidad. (Bledzki & Gassan, 1999)

Figura 17 Fibras textiles: Naturales y Sintéticas



Fuente: Elaboración propia a partir de Recent advancements of plant-based natural fiber - reinforced composites and their applications (Li, y otros, 2020)

Asimismo, la importancia de la fibra de Lino está dada por la baja cantidad de agua empleada en su cultivo, su origen, durabilidad, y factores de sostenibilidad de los procesos utilizados para su obtención o extracción (**Ver Anexo C**). Además, es un insumo base en la comercialización de fibras, ya que es la cuarta fibra con mayor producción después del Bambú, Yute y Kenaf. (Faruk O. , Bledzki, Hans, & Sain, 2012)

El lino, como fibra se encuentra en su gran mayoría en la industria textil a través de procesos de hilado, de gran relevancia al poder absorber grandes cantidades de agua y ser termo regulable, lo que permite una fácil adaptación a diferentes condiciones climáticas. A continuación, se presenta la (**Tabla 3**), un resumen de los atributos básicos del Lino:

Tabla 3 Atributos básicos del Lino como material textil

MATERIAL TEXTIL QUE SE SACAN DE LOS TALLOS DE LA PLANTA DE LINO, PLANTA HERBÁCEA DE TALLO RECTO Y HUECO.

La tela de lino es un tejido de calidad alta. Se considera una fibra natural y sostenible por su cultivo ecológico, sin pesticidas ni fertilizantes, ya que es muy resistente a las plagas. Se procesa sin usar sustancias químicas peligrosas o dañinas para el medio ambiente. (Tejidos Ecológicos, 2020)

Composición	Respuesta a la humedad	Características
Lino es una fibra vegetal y se compone principalmente de celulosa. También se combina con otras fibras textiles vegetales como viscosa o algodón.	Es capaz de absorber hasta un 20% de agua, sin que por ello llegue a adquirir un tacto húmedo.	<ul style="list-style-type: none"> -Resistencia y durabilidad -Ligero y fresco debido a su contenido de celulosa. -Hipo alérgico: Fibra vegetal por naturaleza antibacteriano. -Fijación de pigmentos.

Fuente: Elaboración propia a partir de evaluación y mejoramiento productivo de la empresa tejicolor (Molina, 2013)

El uso de este tipo de fibra natural gana preferencia al ser una fuente renovable de fácil disponibilidad. Además, sus propiedades hacen que tenga un peso más ligero, sea de bajo costo y tengan una venta competitiva de carácter ambiental. Cabe señalar que, dentro de las ventajas de las fibras naturales como el lino frente a fibras sintéticas, se destaca la absorción de la humedad que causa la hinchazón, además de contar con baja densidad,

haciendo que el uso de estos compuestos tejidos, den paso a un procesamiento más simple.

Comportamiento del Lino ante la humedad

Las fibras de lino se componen principalmente de celulosa ya que es el mayor elemento de las plantas, las cuales se abstraen del tallo de la planta. Para el caso del lino en su función natural como tejido, al ser una fibra hidrofílica responde al proceso de capilaridad. Es decir, acumula la humedad, la adhiere a sus fibras, transportándola al exterior para su evaporación.

De hecho, su conductividad es 5 veces mayor que la lana y 18 veces mayor que la seda. Gracias a su estructura molecular, el lino puede absorber hasta un 20% de su peso antes de dar sensación de humedad, y se evapora a más velocidad. (Harris, 2022)

La fibra del lino es hueca, lo que representa mayor capacidad de absorción y a la vez permite que el calor salga, al tiempo que la temperatura baja, por tanto, debido a su estructura el agua se absorbe en su centro. En síntesis, la absorción del agua en las fibras de lino se da en una zona amorfa de su estructura, en donde se penetra en las paredes celulares y el restante queda en su superficie, “Cuando la HR está cerca del 100 %, la absorción de agua en las fibras vegetales (por ejemplo, el lino) puede alcanzar alrededor del 20 % en peso” (Soriano, Roig, Fita, & Sanz, 2013). Este mecanismo es potencializado al emplearse en materiales autónomos que respondan a la humedad, basada en la expansión diferencial de las bicapas.

Propiedades de la fibra del Lino

En la composición química del lino se observa que, al tener un alto contenido de celulosa, se ha de lograr un mayor rendimiento en la adsorción de humedad, además de contar con microfibrillas de celulosa alineadas en la dirección de la fibra. En la siguiente tabla se presenta las propiedades del Lino, encontradas en la literatura.

Tabla 4 Propiedades del Lino

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Longitud (mm)	Diámetro (μm)	Tensión a la rotura (%)	Fuerza de Tensión (Mpa)	Módulo de Young (GPa)	Fuerza específica (MPa)	Módulo específico (GPa)	Contenido de humedad %
Lino	1,38	10-65	5-38	1,2-3	343-1035	50-70	345-620	34-48	7

Fuente: Tomado de (Muñoz, 2018)

5.4.2 Madera

La madera, al ser un tejido biológico, presenta un carácter mucho más dinámico a nivel fisiológico, respecto a los materiales estructurales estáticos típicos utilizados en la construcción, (Dinwoodie, 2000) que al ser materiales no renovables e industrializados, provocan alta contaminación al medio ambiente. Por el contrario, la madera al ser un material natural tiene mayor sostenibilidad, además de la versatilidad en su uso. Dentro de las principales ventajas de la madera según lo indica Zanuttini (2003), se logran encontrar las siguientes:

- Estructura porosa e impermeable, con gran higroscopicidad (que logra un mejoramiento de la calidad del aire).
- Exhibe una mayor magnitud y velocidad del movimiento higromórfico que otros polímeros sintéticos
- Gran durabilidad (si se utiliza adecuadamente, es resistente a los agentes externos).

Es claro indicar que la madera es excepcionalmente flexible, adaptable, sostenible y ecológica, además de que su proceso de transformación es de bajo costo y sencillo al compararlo con otros materiales. Sus características logran estabilizar la humedad y purificar el ambiente, convirtiéndose en una de las mejores alternativas en la construcción. Es claro indicar la importancia de su consumo y uso racional, en el que prevalezca la preservación de los ecosistemas.

La madera cuenta con una naturaleza higromórfica, además de tener inestabilidad dimensional en respuesta a la absorción y pérdida de agua. Lo descrito, permite desarrollar

actuadores que pueden ser accionados por la humedad al emplear el principio de bicapa, los cuales pueden ser adaptados a la geometría de la misma.

En la madera, se presenta una deformación macroscópica que depende de su carácter anisotrópico de hinchamiento y en especial de su dirección tangencial. Entendida como material sensible dentro de los criterios de selección a partir de (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015) y (Reyssat & Mahadevan, 2009) se establece la disponibilidad, los costos y el bajo impacto ambiental. Además, su eficiencia se da a través de la optimización de las propiedades de higroexpansión, según las variaciones en contenido de humedad como se observa a continuación (**Figura 18**).

Figura 18 La madera como material sensible

La madera como material sensible



Prototipo Adaptaciones higromórficas

Comportamiento y optimización de las propiedades de los higromorfos



Fuente: A partir de (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015) y (Reyssat & Mahadevan, 2009)

Comportamiento higromórfico en la madera

La madera es un material anisotrópico con propiedades higroscópicas que pueden ser estudiadas por lo que también se considera un material sensible, menos costoso y renovable (Hensel, 2011). Es así que se caracteriza por ser un material higromórfico que tiende a absorber, retener o expulsar el agua de acuerdo con las condiciones del ambiente, ya que está compuesta fundamentalmente de celulosa y hemicelulosa tal como se describe a continuación:

Tabla 5 Comportamiento higromórfico en la madera

FUENTE	COMPORTAMIENTO HIGROMÓRFICO EN LA MADERA
<p>Characterisation of wood hygromorphic panels for relative humidity passive control</p>	<p>Un aumento de la humedad relativa da como resultado la absorción de agua por las paredes de las celdas de madera, hasta que se alcanza un nuevo contenido de humedad de equilibrio más alto. La adsorción de agua genera el hinchamiento de la madera; si, en cambio, la humedad relativa disminuye, la madera perderá agua y se encogerá. Al ser un material anisótropo, con simetría orto trópica, tanto el hinchamiento como el encogimiento presentan cantidades diferentes según las direcciones anatómicas: longitudinal, radial y tangencial. (Pelliccia, y otros, 2020)</p>
<p>Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness</p>	<p>“En la madera, las moléculas de agua se absorben principalmente en los tejidos de celulosa y hemicelulosa (agua ligada). El contenido de humedad de la madera, calculado en función del peso del agua y la sustancia de la madera, encuentra su punto de saturación de fibra (FSP) en torno al 27 %–30 %. En este estado, se ha absorbido el máximo de agua unida, mientras que cualquier agua adicional simplemente se almacena como la denominada "agua libre" en las cavidades de las células. En comparación con el agua ligada, el agua libre tiene una influencia menor en las propiedades mecánicas generales de la madera. Sin embargo, una disminución del agua unida reduce la distancia entre las microfibrillas del tejido celular dando como resultado un cambio dimensional significativo y un aumento de la resistencia mecánica debido a la unión interfibrilar.” (Steffen, Achim, & David, 2015)</p>
<p>Use of Hygroscopic Responsive Wood Prototype for</p>	<p>La madera, cuando está verde, tiene agua en estado líquido y vapor en todos sus poros y cavidades. Esta agua se puede clasificar en dos tipos: agua libre, que llena las cavidades, y agua de unión, que está en las fibras celulares. La madera se considera seca cuando su contenido de humedad</p>

Teaching Performative Architecture	<p>está entre el 20% y el 30%, lo que significa que este es el valor correspondiente del peso del agua en relación con el peso total de la muestra. El agua presente en la madera seca es agua vinculante, y los poros y cavidades de la madera están vacíos. La importancia de la diferencia de agua en la madera es que sólo a partir del punto en que las fibras no están más saturadas, o al parecer, cuando empiezan a perder agua aglutinante y reducen el nivel de humedad por debajo del 30%, es que hay habrá transformaciones en las dimensiones de la madera. (Walker, 2006)</p>
---	---

Fuente: Elaboración propia a partir de los autores citados.

Es así que el comportamiento higromórfico de la madera varía de acuerdo a las condiciones del entorno. De ahí que esta propiedad le otorga capacidad de adsorción y desorción, es decir que al retener la humedad se hincha y al expulsarla se contrae. Por lo que se debe buscar el equilibrio higromórfico. Es decir, si la humedad ambiente es menor que el del equilibrio, el material tiende a secar, pero si al contrario la humedad ambiente es mayor, se humedecerá el material.

Los fenómenos que experimenta la madera según el contenido de agua, representan la relación entre la masa de agua contenida y la masa de madera sin agua. Es decir, si se tiene una masa de madera de 200 kg y se quisiera llegar a un porcentaje de humedad del 100%, el contenido de agua ha de ser de 100kg. Este contenido de agua se puede dar de tres formas: Agua libre, agua higroscópica y agua de constitución, según el manual de diseño para maderas del grupo Andino (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984). El agua libre es la que llena las cavidades celulares, el agua de higroscópica se contiene en las paredes celulares y el agua de constitución se encuentra en la estructura molecular. Además, se identifica que cuando se da la pérdida de agua y se manifiesta el fenómeno de contracción se pierde primero el agua libre, después el agua higroscópica, hasta llegar al agua de constitución, la cual únicamente se pierde por procesos de combustión.

La fórmula para medir el contenido de humedad es la siguiente:

$$CH\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

A partir de los cambios de humedad se presentan cambios dimensionales y deformaciones, que se dan cuando el contenido de humedad está por debajo del punto de saturación de las fibras de madera. “La contracción y la expansión presentan valores diferentes en las tres direcciones de la madera, La contracción longitudinal (CL) es del orden del 0.1 por ciento. La contracción tangencial (CT) y la contracción radial (CR) son las principales responsables del cambio volumétrico. Según Kollmann la relación CT/CR varía del 1.65 al 2.30.” (Junta del acuerdo de Cartagena, 1984).

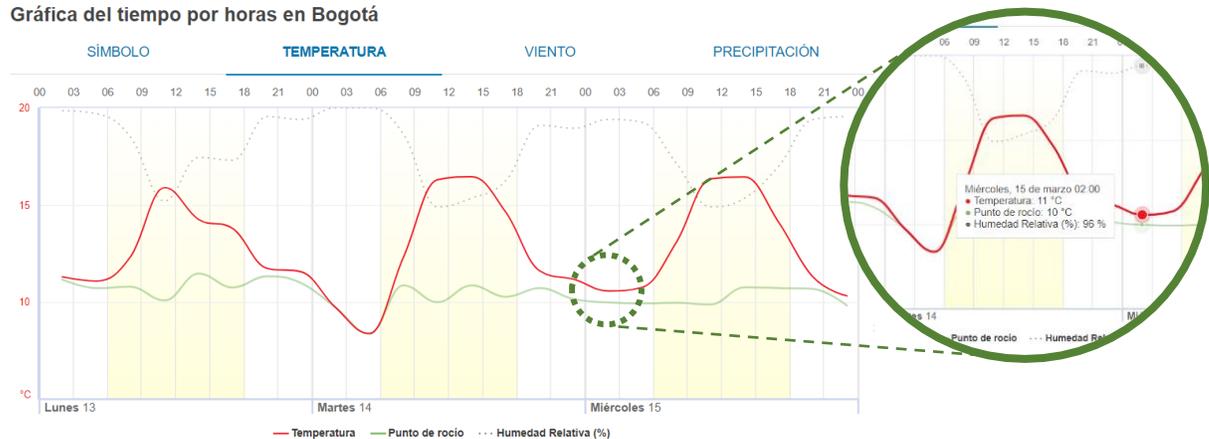
6. Condiciones de humedad relativa en Bogotá

Entiendo la humedad relativa como la cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en relación a la cantidad máxima de humedad que puede almacenar el aire en una temperatura específica; la humedad, se ha caracterizado por ser un elemento meteorológico directamente relacionado con la estabilidad atmosférica. Según Climate-Data.org (2021), las condiciones de clima y humedad de Bogotá se distinguen por las siguientes condiciones:

El clima de Bogotá se clasifica como cálido y templado. La temperatura promedio es de 13.1 °C, al medio día la temperatura máxima media oscila entre 18 y 20°C, y en la madrugada la temperatura mínima está entre 8 y 10°C. El valor más bajo de la humedad relativa en un día se mide en 66.70 % y la humedad relativa más alta en 96 %. (CLIMATE-DATA.ORG, s.f.)

Figura 19 Variaciones de temperatura, punto de rocío y humedad relativa horaria, Bogotá

Gráfica del tiempo por horas en Bogotá



Fuente: (El Tiempo, 2023)

Como se observa en la **(Figura 19)**, a mayor humedad relativa disminuye los valores de la temperatura, presentándose en un mismo día a las 02:00 am una humedad relativa del 96 % y una temperatura de 11 °C y a las 11:00 am una humedad relativa del 66 % y una temperatura de 16 °C. Es decir que son variables inversamente proporcionales ya que el mayor valor de humedad relativa corresponde al menor valor de temperatura. Por otra parte, según los indicadores de IDEAM (2021) De acuerdo con la **(Tabla 6)**:

“la humedad relativa media horaria en la zona varía entre el 73% y 86%; las zonas con mayor índice de humedad se sitúan en los sectores de la parte media de la cuenca del río Tunjuelo, en el sitio de La Regadera con 86%. Es muy probable que esa alta humedad se presente por la influencia directa del embalse, que genera mayor cantidad de vapor de agua en el ambiente; también se registran altas humedades en Hacienda Las Vegas, en el sector comprendido entre Fontibón y el Humedal de Capellanía, así como en el Jardín Botánico, este último bajo influencia de la vegetación donde se encuentra ubicada la estación.” (IDEAM, 2021)

Tabla 6 Promedios mensual y anual de humedad relativa en Bogotá (%)

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
APTO EL DORADO	79	80	81	82	81	79	77	77	79	82	83	81	80
APTO. GUAYMARAL	72	73	74	77	76	75	74	74	74	76	76	74	74
ESC. COL. DE ING.	80	79	80	81	82	81	81	80	80	80	81	81	80
GJA. SAN JORGE	81	81	82	84	83	82	82	82	82	83	84	82	82
HDA LAS VEGAS	85	85	85	85	85	85	85	85	86	86	86	85	85
JARDÍN BOTÁNICO	82	83	84	84	84	83	81	81	81	85	85	84	83
OBS. METE. NAL.	75	76	77	78	77	74	73	73	75	76	78	76	75
UNIV. NACIONAL	75	76	77	78	77	74	73	73	75	76	78	76	78
VENADO DE ORO	77	78	79	81	82	81	81	80	79	81	83	80	80
VITELMA	75	77	78	80	80	80	81	79	77	79	82	79	79
REGADERA	80	81	86	90	93	92	92	92	90	89	90	88	86

Fuente: (IDEAM, 2021)

En general, la humedad tiene variaciones significativas en sus valores medios debido al alto contenido que normalmente se presenta en la zona tropical, y a los cambios diarios de temperatura. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 77 y 83 %, siendo mayor en los meses de abril y noviembre y menor en julio y agosto.

7.Desarrollo diseño experimental

7.1 Proceso fabricación de probetas

Para el desarrollo del estudio se realizó la fabricación de cuarenta y ocho (48) probetas de madera y fibra de lino en las que se utilizaron como matriz dos (2) tipos de adhesivo de contacto industrial compatibles con la madera y el textil. El primero es (PL-285) a base de cloropreno y solventes, que es un producto desarrollado para la madera en procesos de laminación y tapicería de textiles, además de tener una reactivación de sus propiedades de forma termo activa. El segundo (Cola de contacto en Spray Soudal) adhesivo de contacto listo para usar en formato aerosol, a base de caucho sintético que tiene una resistencia a la humedad y a temperaturas entre -30°C hasta +80°C (a corto plazo incluso 100°C).

La fabricación de las probetas consiste en cortar las láminas de chapilla y el textil de lino con dimensiones de 20mm x 100mm. Posteriormente se aplica sobre las dos piezas a unir el adhesivo de contacto, se deja secar por 10 minutos para después poner en contacto las superficies con una unión instantánea, flexible y permanente. Después son prensadas por veinte cuatro (24) horas a humedad y temperatura ambiente, para lograr probetas con la menor magnitud de deformación inicial.

Figura 20 Fabricación de probetas



Fuente: Autor

Figura 21 Prensado de probetas

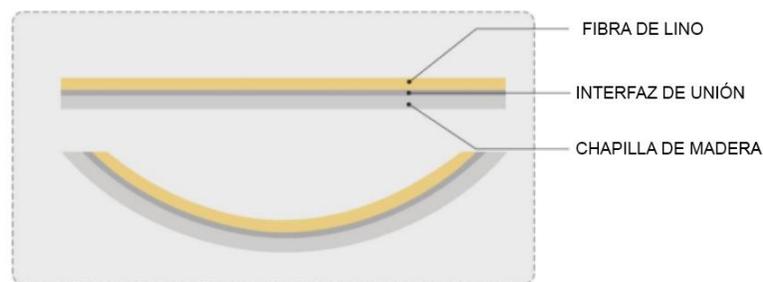


Fuente: Autor

7.2 FASE 1 – Diseño Experimental material bicapa

En la selección de los componentes para la realización del estudio del material bicapa (**Ver Figura 22**) se retoma el análisis de la capa activa de chapilla de madera, de la investigación “Caracterización del comportamiento higromórfico de un material responsivo de dos capas en madera bajo condiciones de humedad relativa de la ciudad de Bogotá” y el análisis de la capa pasiva que es la fibra de lino del estudio “Actuador biocompuesto de polipropileno reforzado con lino automoldeante inducido por la humedad”, y la matriz de unión.

Figura 22 Material bicapa

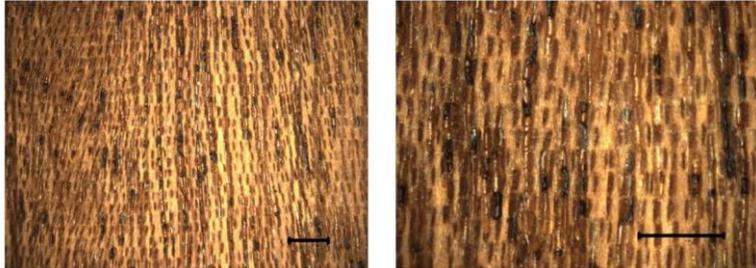
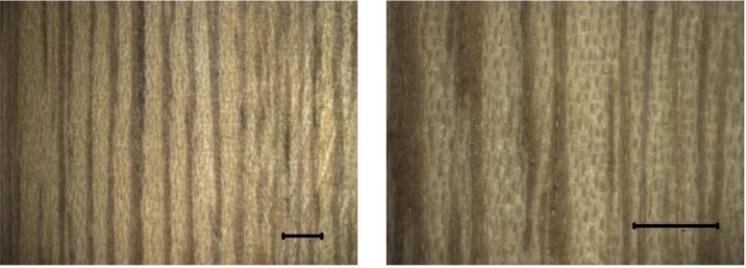
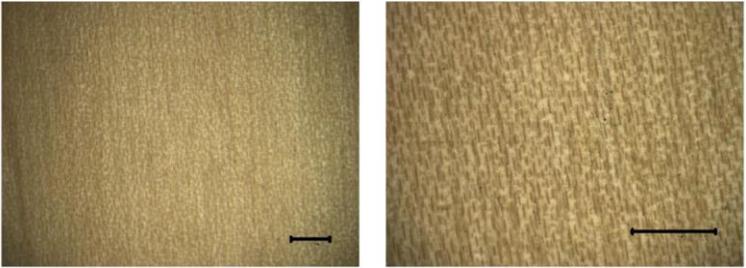


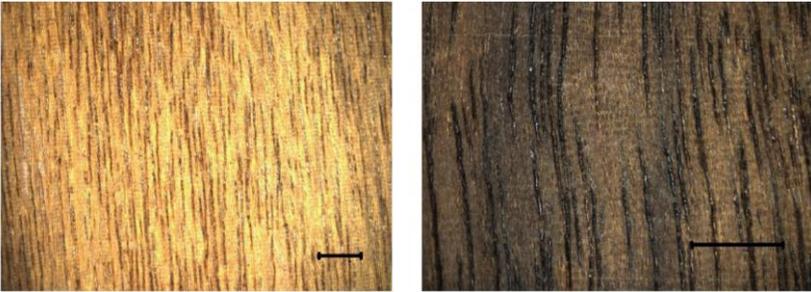
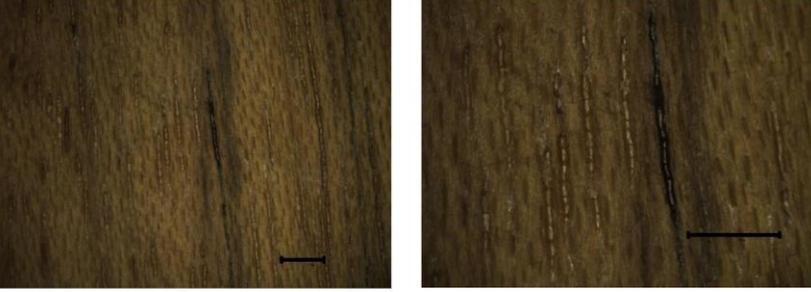
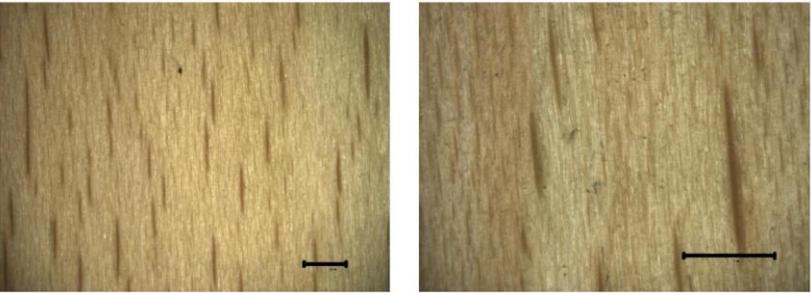
Fuente: Autor

7.2.1 Caracterización Capa Activa

Dentro del desarrollo teórico se toma la Norma Técnica colombiana NTC 701, norma que tiene por objeto establecer el método para determinar la contracción de la madera, a partir de ensayos que determinen la “diferencia en porcentaje entre las dimensiones de una probeta en estado húmedo (contenido de humedad mayor o igual a 30 %) y en estado anhidro, dividida por la dimensión en estado húmedo” (ICONTEC, 2003). Es así, que en la **Tabla 7**, se recopila los resultados de investigaciones previas que determinan la contracción lineal y transversal de las chapillas usadas para la presente investigación, dentro de las que se estudia el Sapelli, Flormorado, Sycamore, Palissandro, Teca Natural, y Haya. De igual forma, para la selección de los componentes, se tiene en cuenta la caracterización macroscópica de las chapillas, en las siguientes categorías: la estratificación de los radios, el tamaño de los radios medidos en micrómetros, la densidad de los poros medida en $N^{\circ}/1cm$, y el módulo de elasticidad medido en MPa.

Tabla 7 Caracterización Anatómica Capa Activa

Madera	Caracterización anatómica con microscopio estereoscópico	Estratificación de los radios	Tamaño de radios (micrómetros)	Densidad de poros (N°/1cm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Contracción Lineal y Transversal
Sapelli <i>(Entandrophragma cylindricum)</i>	(10x aumento izquierda, 20x aumento derecha, referencia 2 mm) 	Presente	323-466 (X=414,4)	24-25	8900	Lineal:0.30 Trans:6.51
Flormorado <i>(Tabebuia rosea)</i>	(10x aumento izquierda, 20x aumento derecha, referencia 2 mm) 	Presente	171-293 (X=219,1)	10	8595	Lineal:0.24 Trans:3.11
Sycamore <i>(Platanus occidentalis)</i>	(10x aumento izquierda, 20x aumento derecha, referencia 2 mm) 	Ausente	201-443 (X=509,1)	No visibles	9796	Lineal:0.31 Trans:10.06

<p>Palisandro (<i>Dalbergia sp.</i>)</p>	<p>(10x aumento izquierda, 20x aumento derecha, referencia 2 mm)</p> 	<p>Presente</p>	<p>98-110 (X=104)</p>	<p>24-25</p>	<p>--</p>	<p>Lineal:0.15 Trans:7.89</p>
<p>Teca Natural (<i>Tectona grandis</i>)</p>	<p>(10x aumento izquierda, 20x aumento derecha, referencia 2 mm)</p> 	<p>Ausente</p>	<p>371-661 (X=509,1)</p>	<p>12-14</p>	<p>13072.59</p>	<p>Lineal:0.54 Trans:5.62</p>
<p>Haya (<i>Fagus sp.</i>)</p>	<p>(10x aumento izquierda, 20x aumento derecha, referencia 2 mm)</p> 	<p>Ausente</p>	<p>1013-4260 (X=1909)</p>	<p>12-16</p>	<p>1450</p>	<p>Lineal:0.44 Trans:11.30</p>

Fuente: (Pérez, 2019)

7.2.2 Caracterización Capa Pasiva

En el estudio de biocompuestos con fibra de Lino, con orientaciones de 0° y 90°, en investigaciones se encontró que “el módulo de Young longitudinal de los biocompuestos de lino aumenta con el contenido de fibra, lo que confirma el efecto de refuerzo de las fibras de lino”, (Le Duigou & Castro, 2017). Por lo anterior, se presenta un mayor comportamiento anisotrópico a medida que aumenta la cantidad de fibras. Los estudios han demostrado que el módulo de elasticidad de los bio-compuestos de fibra de lino se encuentra en el mismo rango que el de fibra de vidrio, lo que puede explicarse por las buenas propiedades de la interfaz fibra/matriz de este sistema. (Martin, Mouret, Davies, & Baley, 2013).

A continuación, se describe el módulo de elasticidad, y el índice de higr expansión del Lino, además de las características de los tipos de lino que se emplean en la presente investigación:

Tabla 8 Características generales del Lino

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL LINO		
Módulo de elasticidad (MPa)	343-1035 Mpa	
Contracción Lineal y Transversal	15 – 20	
TIPOS DE LINO		
Lino blanco orgánico	Composición: 100% lino orgánico Peso: 160 gr / m ²	
Lino Orgánico Mixto	Composición: 80% lino + 20% algodón orgánico Peso: 145 gr / m ²	

Fuente: (Duigou & Castro, 2015)

7.3 FASE 2 – Diseño Experimental respuesta del material bicapa

Para la selección de los componentes del material bicapa de madera y fibra de lino se realizaron cuarenta y ocho (48) probetas con seis (6) combinaciones de especies de madera, dos (2) combinaciones de fibra de lino, dos (2) sentidos de dirección de la fibra Y dos (2) tipos de pegamento. Las probetas presentadas se usaron para la primera fase del estudio, en la que se caracteriza de forma general el comportamiento del material bicapa para hacer una pre-selección de las probetas con baja de laminación, magnitud de deformación uniforme y que presentaran recuperación de su forma después del ciclo de secado.

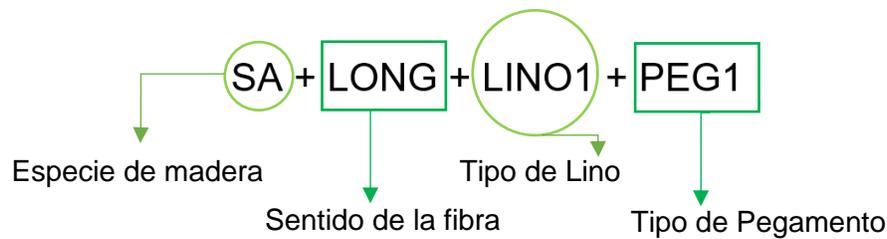
Figura 23 Variaciones de probetas por especie de madera

ESPECIE DE MADERA	SENTIDO FIBRA ESPECIE MADERA	FIBRA DE LINO	PEGAMENTO
<ul style="list-style-type: none"> •SAPELLI (SA) •FLORMORADO (FM) •SYCAMORE (SY) •PALISANDRO (PA) •TECA NATURAL (TN) •HAYA (HA) 	<ul style="list-style-type: none"> •LONGITUDINAL (L) •TRANSVERSAL (T) 	<ul style="list-style-type: none"> •LINO BLANCO ORGÁNICO •LINO ORGÁNICO MIXTO 	<ul style="list-style-type: none"> •PL285 •CONTACT ADHESIVE SPRAY

Fuente: Autor

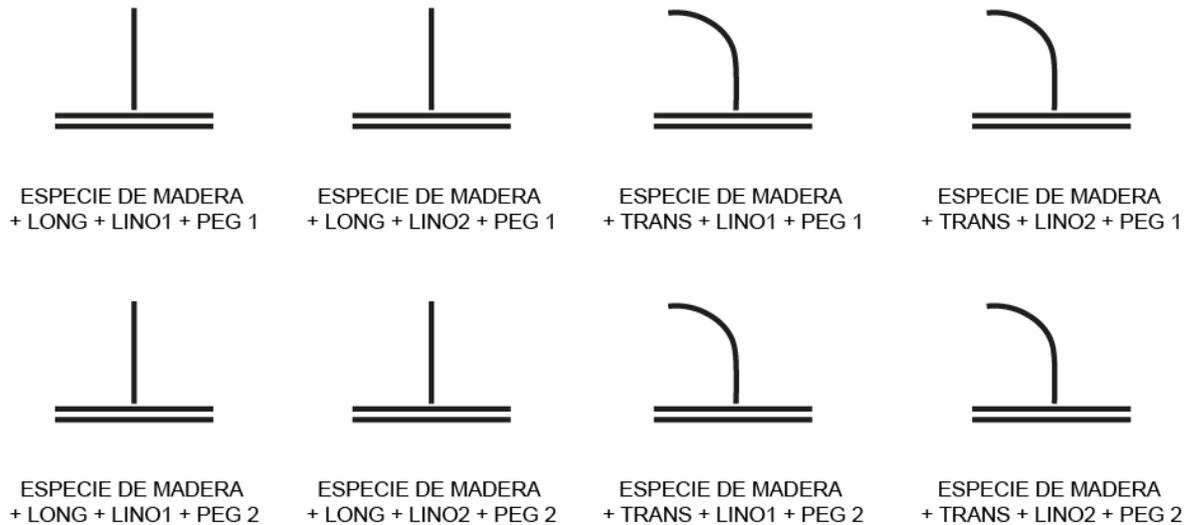
Para cada especie de madera se realizan ocho (8) combinaciones, las cuales fueron nombradas teniendo en cuenta, el sentido de la fibra de la capa de madera, el tipo de lino, y el tipo de pegamento. A partir de ello, se usó la siguiente nomenclatura:

Especie de madera + Sentido de la fibra + Tipo de Lino + Tipo de pegamento.

Figura 24 Nomenclatura de probetas

Fuente: Autor

Tal como se observa en el ejemplo, de la probeta Sapelli se nombró para el pegamento tipo 1 (PL 285) las probetas SA+LONG+LINO1+PEG1, SA+LONG+LINO2+PEG1, SA+TRANS+LINO1+PEG1, SA+TRANS+LINO2+PEG1, y para el pegamento tipo 2 (Contact adhesive) las probetas SA+LONG+LINO1+PEG2, SA+LONG+LINO2+PEG2, SA+TRANS+LINO1+PEG2, SA+TRANS+LINO2+PEG2

Figura 25 Combinaciones de probetas por especie de madera

Fuente: Autor

La clasificación de las probetas antes nombradas se realiza en dos montajes de acrílico (**Ver Figura 25**), que tienen una retícula de 10mm x 10mm como guía de medición de la magnitud de deformación de las probetas. Estas son puestas en una cámara de prueba de

humedad y temperatura que simula la humedad relativa máxima del 90% por 24 horas, la cual se corrobora con un higrómetro electrónico.

Figura 26 Muestra a las 24 horas de exposición



Fuente: Autor

La recopilación de la información se realiza mediante una toma fotográfica cada media hora por las primeras 6 horas y a las 24 horas para medir la deformación final, y posteriormente a las 36 horas se mide la recuperación del estado inicial: que se clasifica en recuperación completa, deformación leve (de menos de 5 mm), deformación moderada (de hasta 20 mm) y deformación severa (más de 20 mm). La toma de la información se realiza por medio de un montaje que disminuye los reflejos y permite hacer una toma con las mínimas variaciones (**Ver Figura 27**).

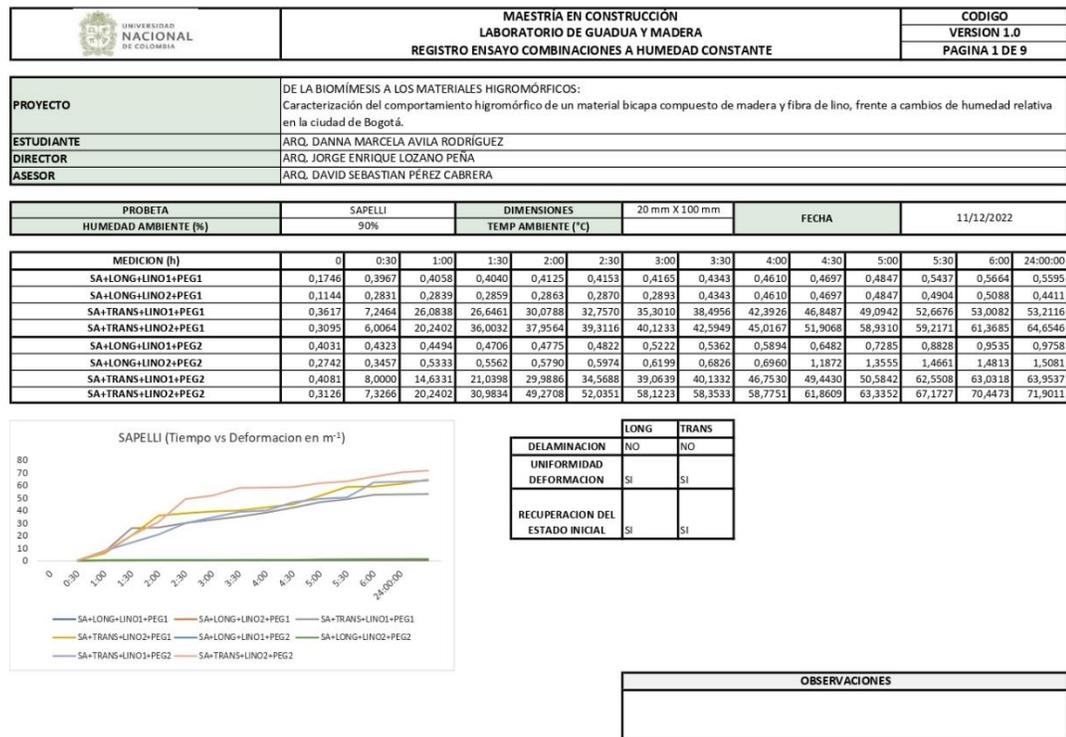
Figura 27 Montaje ensayo de selección

Fuente: Autor

Dentro del proceso del diseño experimental, se determinan las variables que afectan el comportamiento del material bicapa ante la humedad, como lo es el grosor y la cantidad de adhesivo usado en cada tipo de matriz, tal como se muestra en **(Anexo D)** “**Determinación del peso**”

En el proceso de consolidación y análisis de los datos, la información es registrada en tablas de medición organizadas cada media hora, a partir de las cuales se generan gráficos lineales que representan los datos, para determinar el momento donde se presenta la mayor curvatura total. Tal como se muestra a continuación **(Ver Figura 28)**:

Figura 28 “Registro ensayo combinaciones de madera y fibra de lino expuestas a humedad constante”



Fuente: Autor

7.4 Selección del material

Para la selección del material con mejor respuesta, con más baja de laminación, deformación uniforme y con recuperación de su forma inicial después del ciclo de secado, en la última fase, se realizan cuatro ciclos de (12) doce horas cada uno, los cuales consisten de la siguiente forma:

1. Primer ciclo= (12) doce horas de exposición a humedad relativa máxima (90% HR).
2. Segundo ciclo= (12) doce horas de exposición a humedad relativa ambiente.
3. Tercer ciclo= (12) doce horas de exposición a humedad relativa máxima (90% HR).
4. Cuarto ciclo= (12) doce horas de exposición a humedad relativa ambiente.

7.5 Resultados primera fase

Los resultados de los ensayos se organizan en (6) seis grupos, correspondientes a cada especie de madera, los cuales son comparados según las variables de magnitud de deformación, tiempo de respuesta, integridad estructural, recuperación de estado inicial y delaminación. **(Anexo E)** Con el objetivo de determinar las probetas con mejor respuesta:

PROBETAS SAPELLI

- **SA+LONG+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.5594 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.3043481%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 29 : SA+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

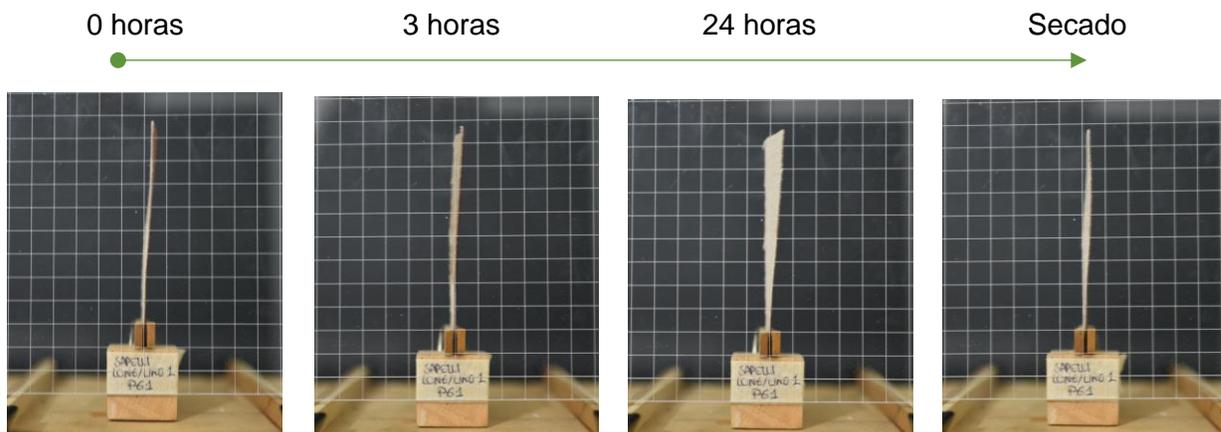
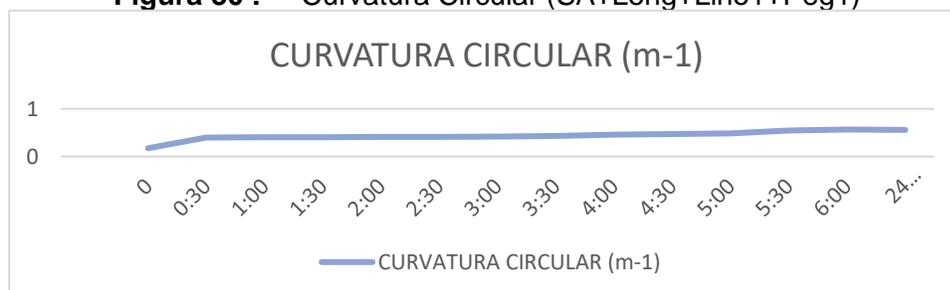


Figura 30 : Curvatura Circular (SA+Long+Lino1+Peg1)



- **SA+LONG+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino orgánico mixto presenta una respuesta máxima de 0.4411 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPEJOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.3043481%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.06	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 31 : SA+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

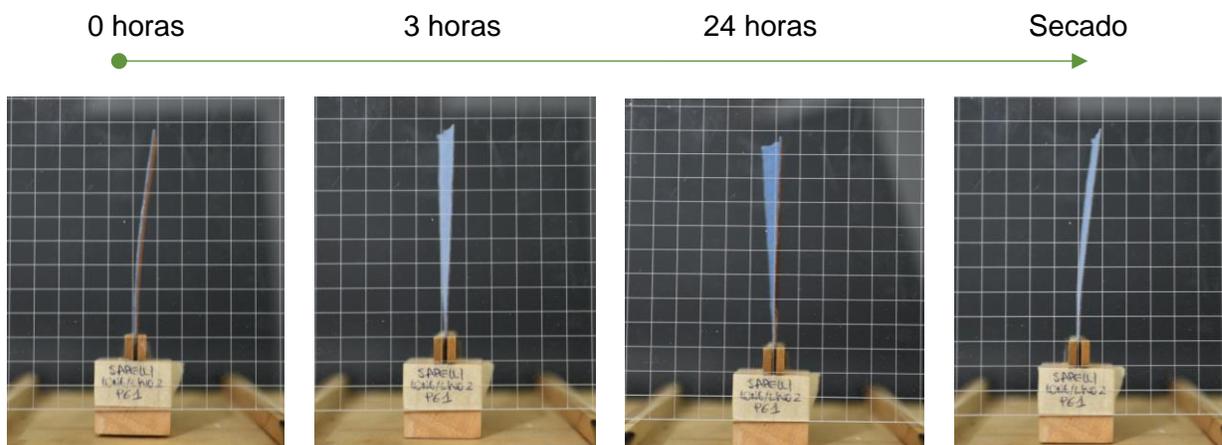
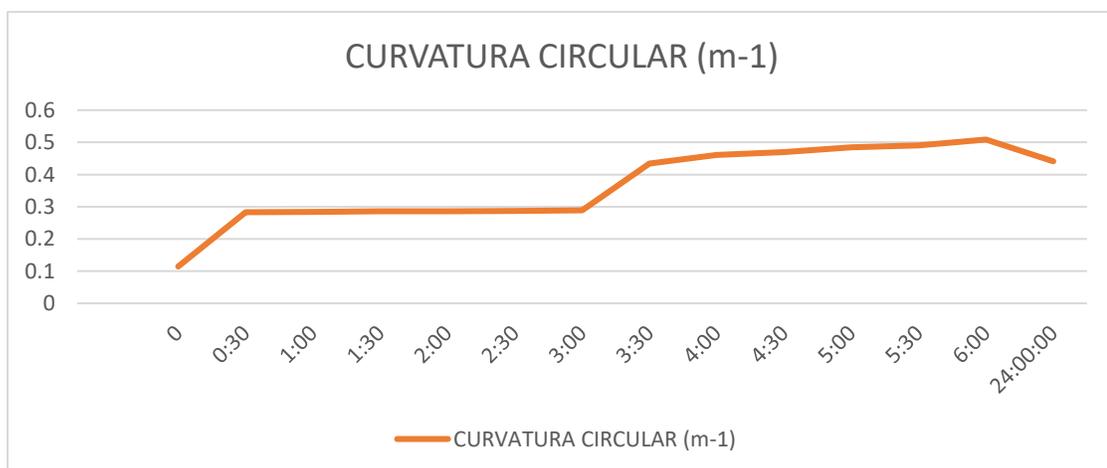


Figura 32 : Curvatura Circular (SA+Long+Lino2+Peg1)



- **SA+TRANS+LINO1+PEG1**: Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 53.2116 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEJOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	6.5076168%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 33 : SA+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

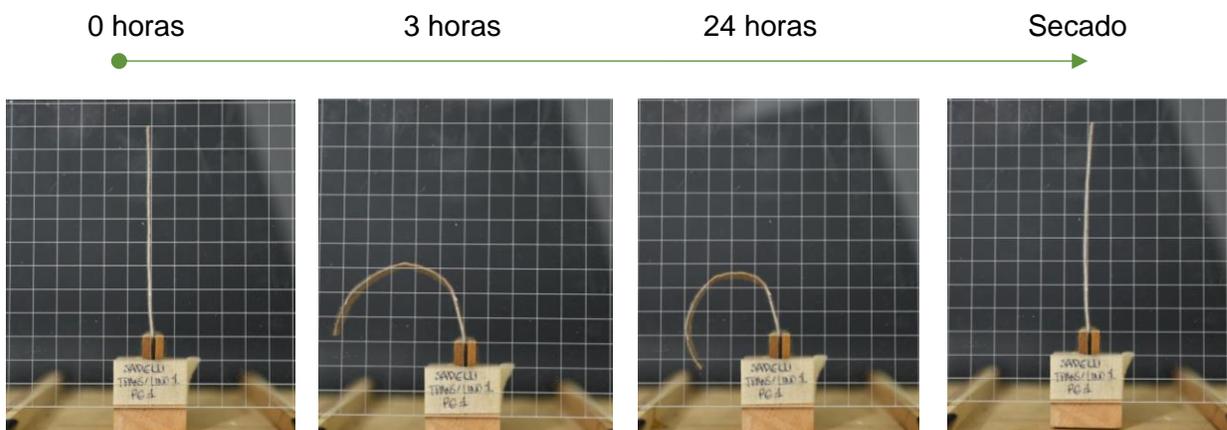
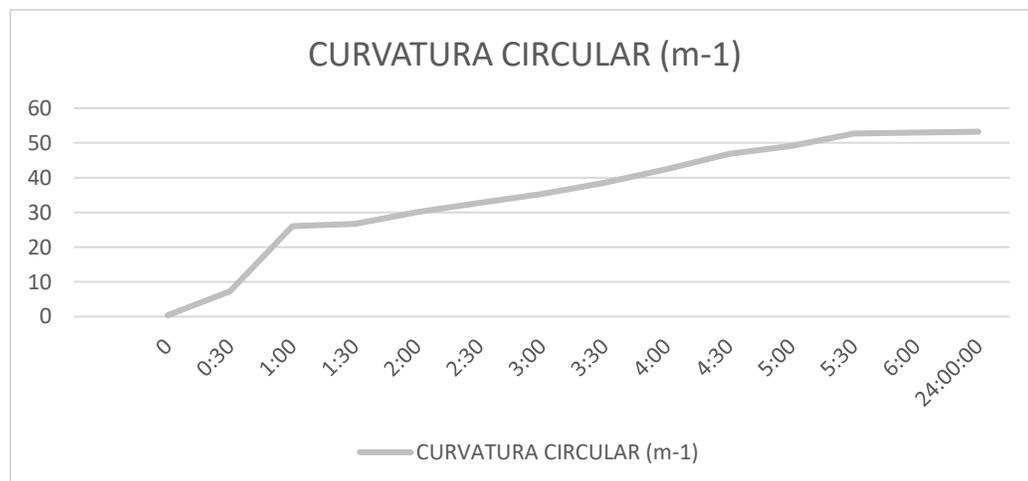


Figura 34 : Curvatura Circular (SA+Trans+Lino1+Peg1)



- SA+TRANS+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 64.6546 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEJOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	6.5076168%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.06	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 35 : SA+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

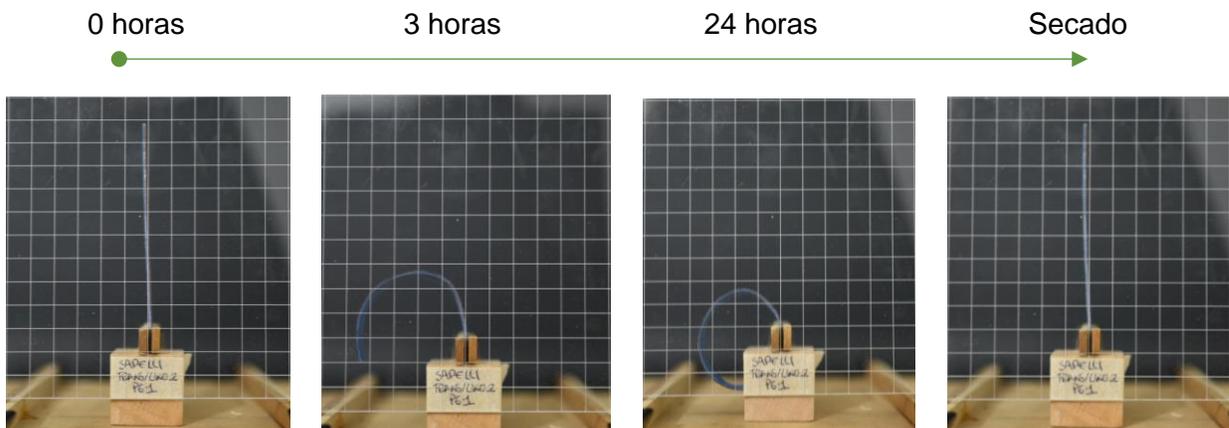
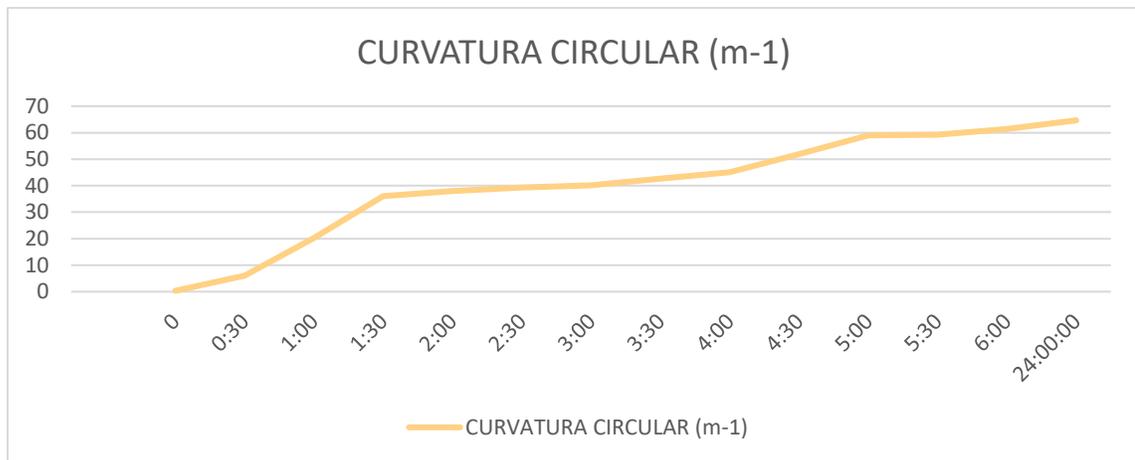


Figura 36 : Curvatura Circular (SA+Trans+Lino2+Peg1)



- SA+LONG+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.97585 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	SAPPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.3043481%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 37 : SA+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

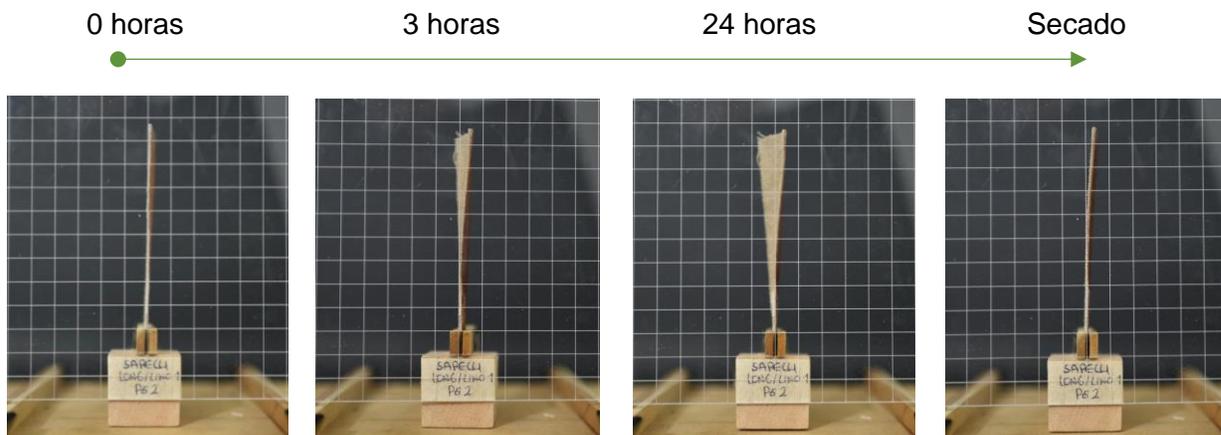
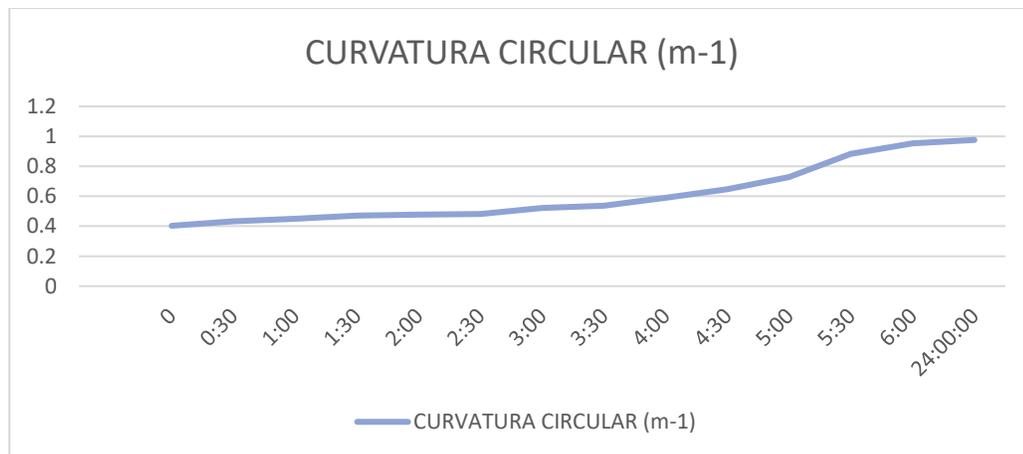


Figura 38 : Curvatura Circular (SA+Long+Lino1+Peg2)



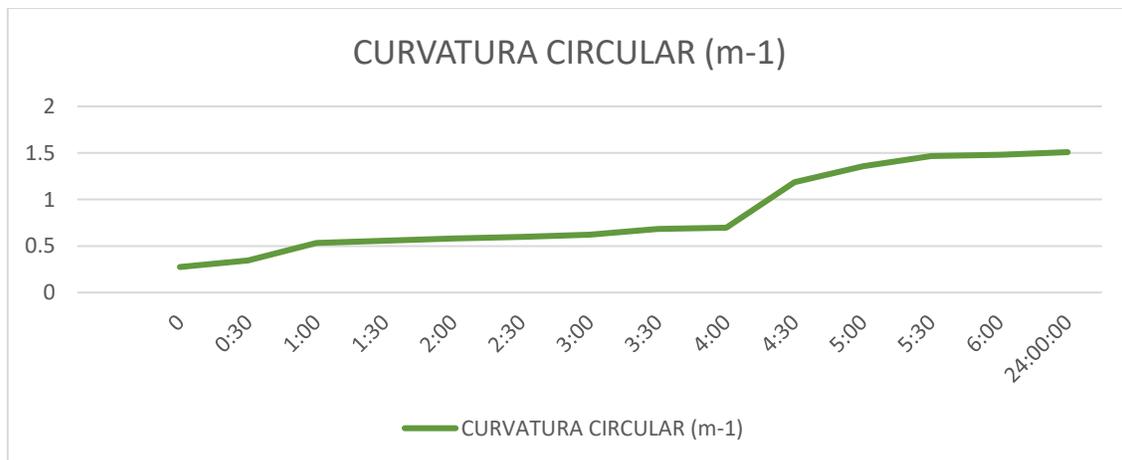
- SA+LONG+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino orgánico mixto presenta una respuesta máxima de 1.50812 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.3043481%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.06	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 39 : SA+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 40 : Curvatura Circular (SA+Long+Lino2+Peg2)



- **SA+TRANS+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 63.95375 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	6.5076168%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 41 : SA+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

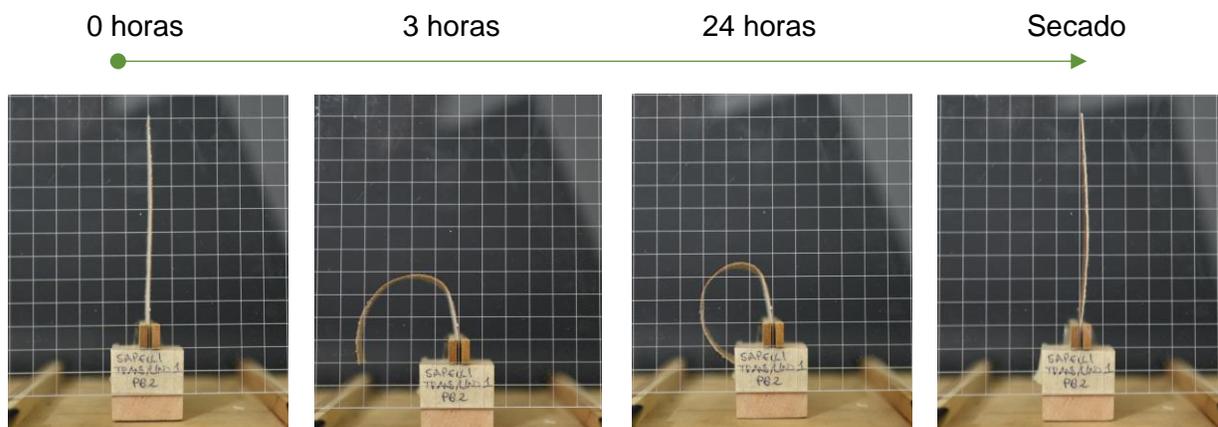
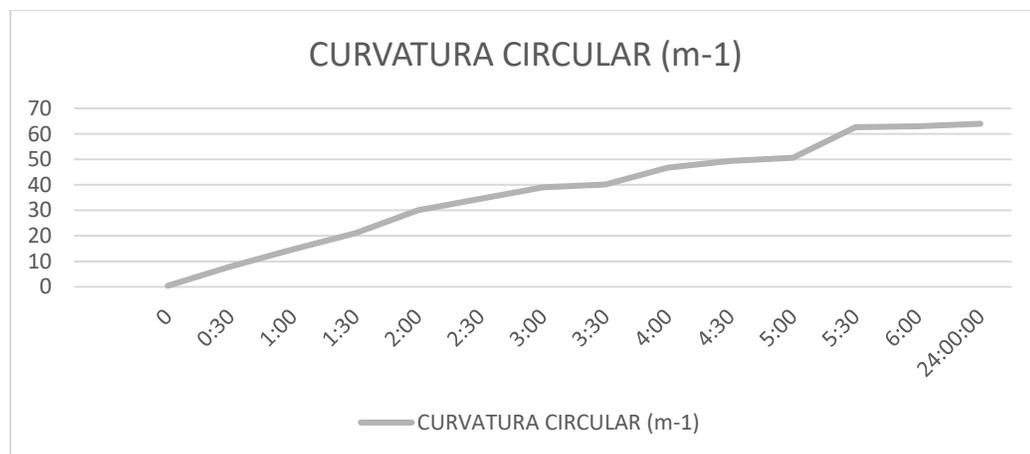


Figura 42 : Curvatura Circular (SA+Trans+Lino1+Peg2)



- **SA+TRANS+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino orgánico mixto presenta una respuesta máxima de 71.90106 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEJOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	6.5076168%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 43 : SA+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

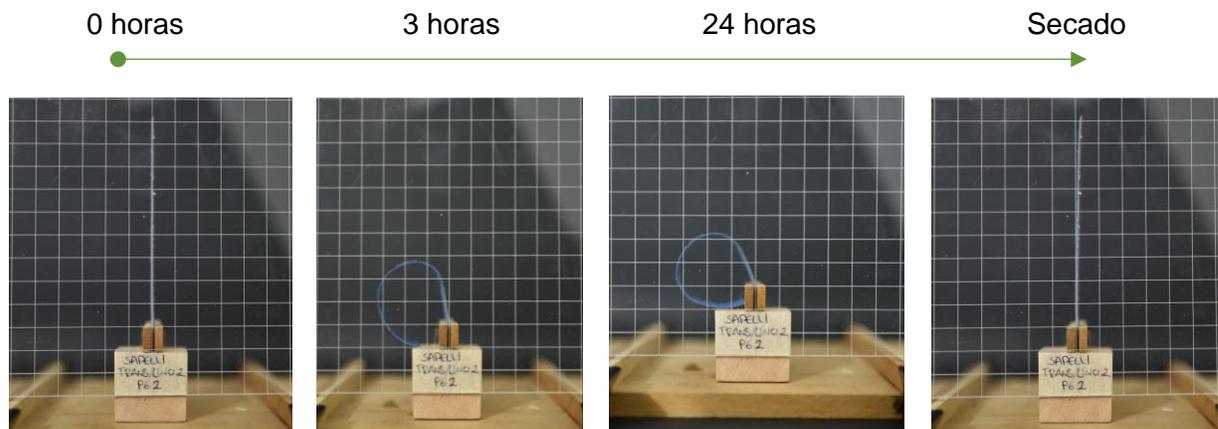


Figura 44 : Curvatura Circular (SA+Trans+Lino2+Peg2)

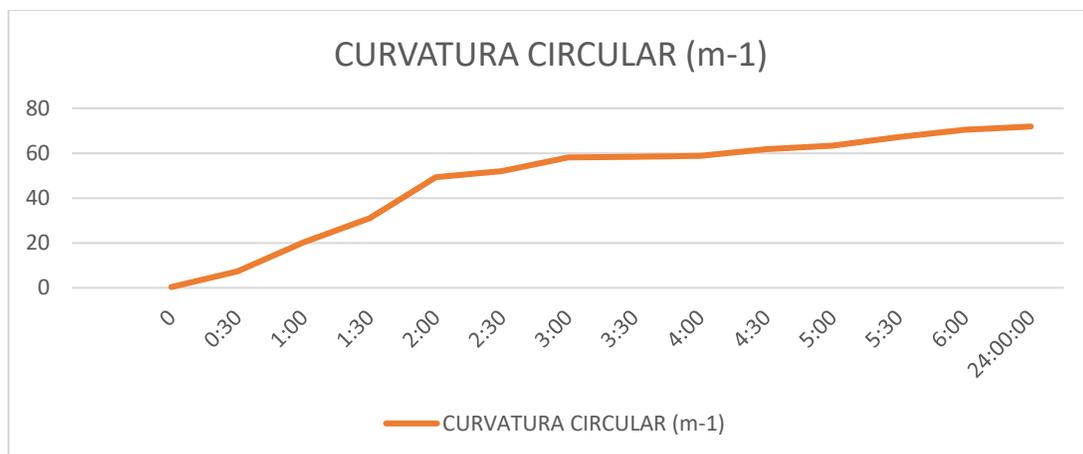
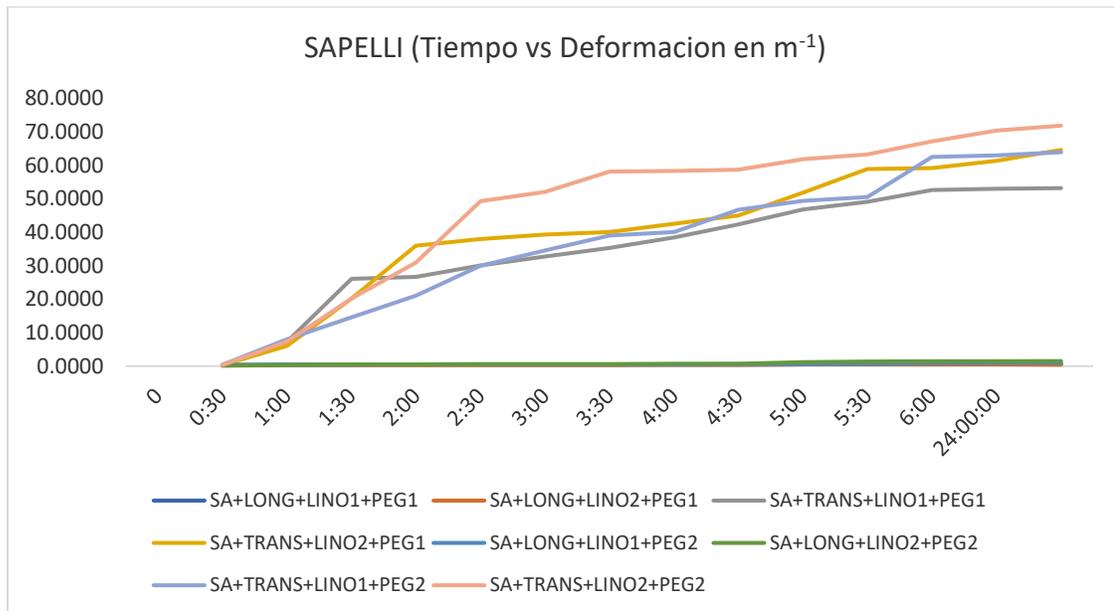


Figura 45 : Grafica de tiempo vs deformación SAPELLI

Como se observa en la gráfica de tiempo vs deformación de las probetas de Sapelli, en el registro entre los 30 minutos y los 60 minutos se presenta una rápida absorción inicial, donde el radio de deformación es más del 50% respecto al inicial. Se presenta una mayor deformación en el sentido transversal con el uso del pegante 2 - Contact Adhesive Spray, y en con el lino orgánico se presentan mayores deformaciones.

PROBETAS FLOR MORADO

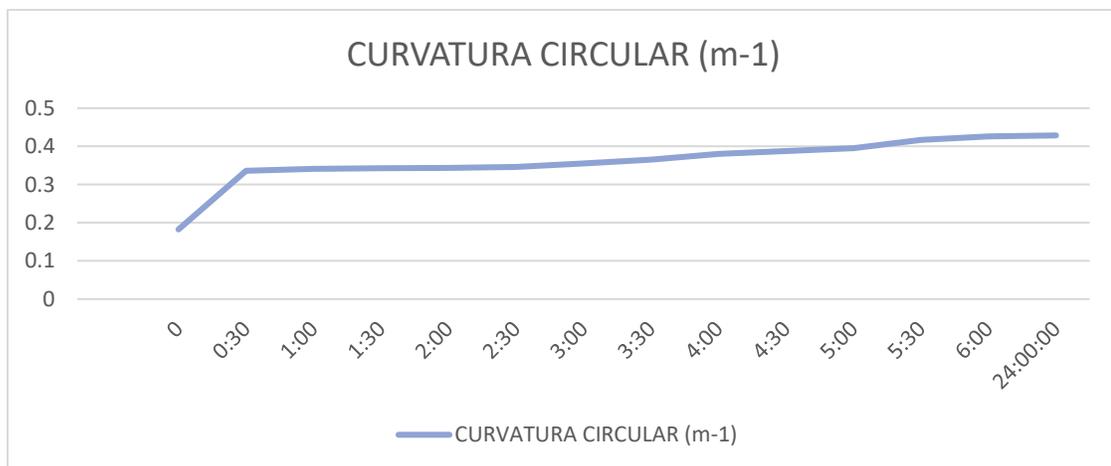
- FM+LONG+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.42863 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.66	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.2426439%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 46 : FM+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 47 : Curvatura Circular (FM+Long+Lino1+Peg1)



- **FM+LONG+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino orgánico mixto presenta una respuesta máxima de 0.470885 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.66	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.2426439%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 48 : FM+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

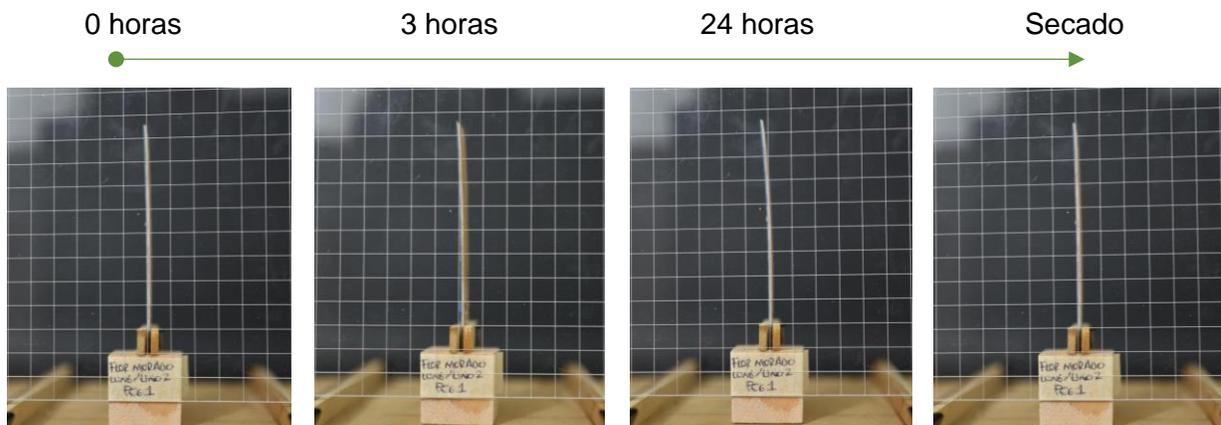
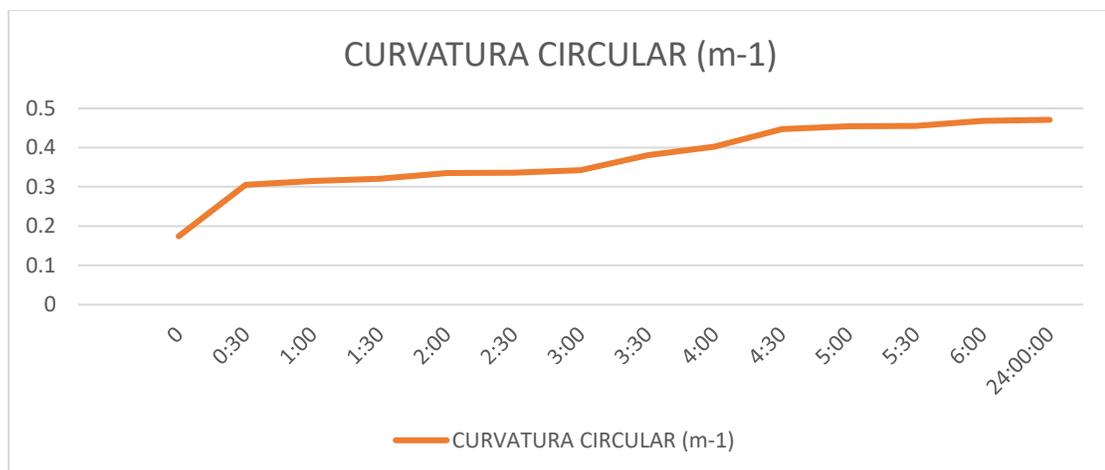


Figura 49 : Curvatura Circular (FM+Long+Lino2+Peg1)



- FM+TRANS+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.40685 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.66	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	3.1139652%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 50 : FM+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

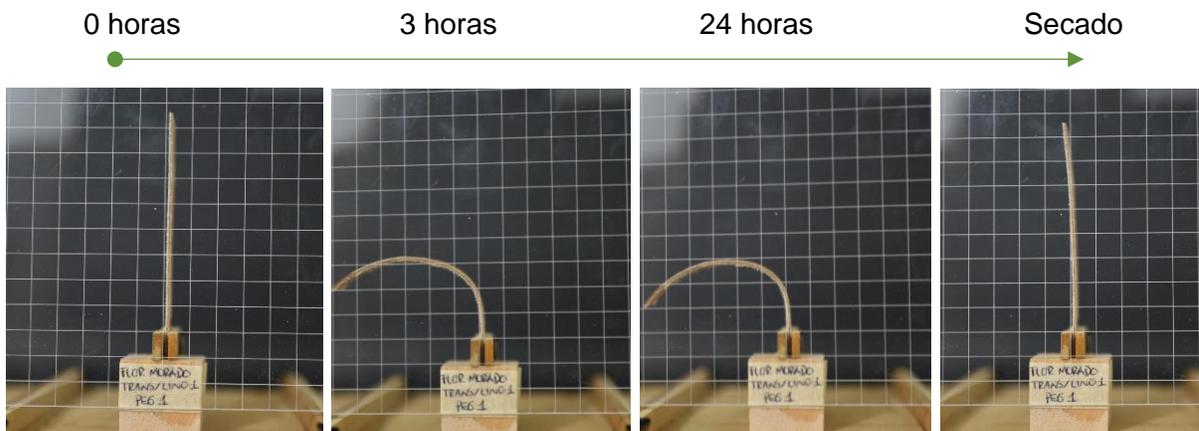
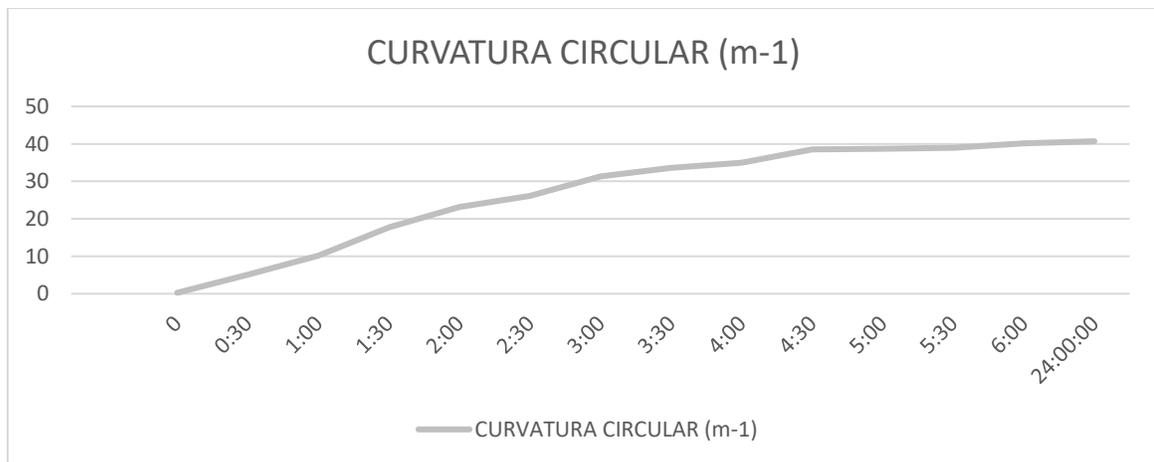


Figura 51 : Curvatura Circular (FM+Trans+Lino1+Peg1)



- **FM+TRANS+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino orgánico mixto presenta una respuesta máxima de 0.358954 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEJOR (mm)	0.66	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	3.1139652%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 52 : FM+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

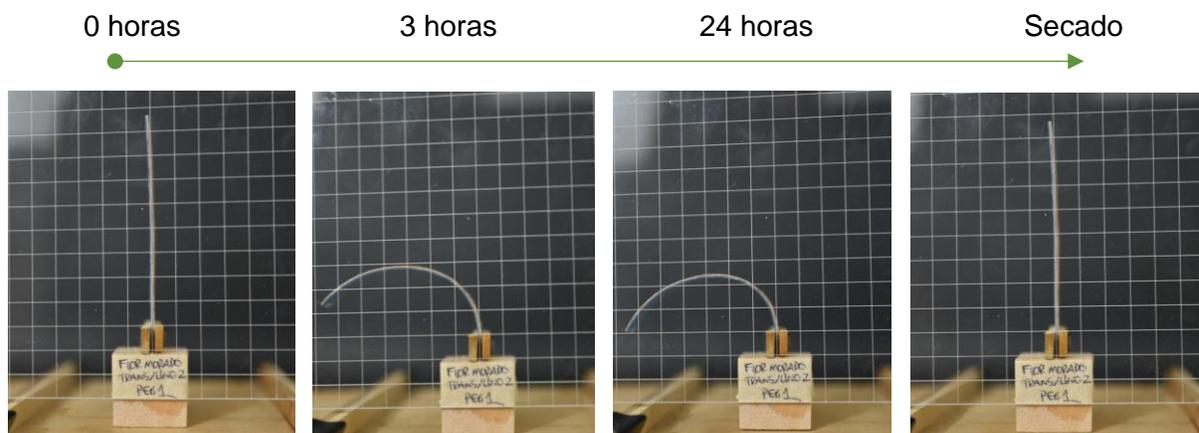
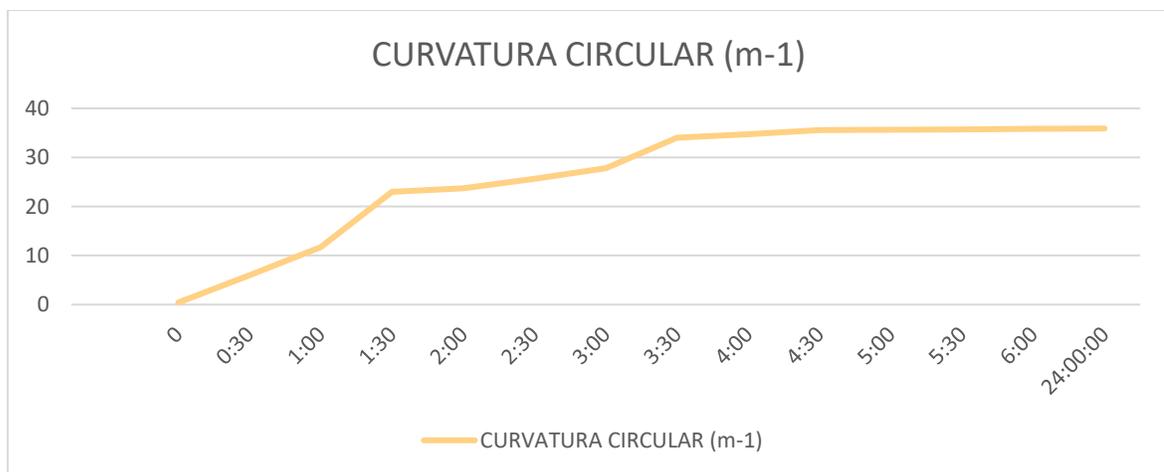


Figura 53 : Curvatura Circular (FM+Trans+Lino2+Peg1)



- FM+LONG+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.484025 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPEJOR (mm)	0.66	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.2426439%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 54 : FM+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

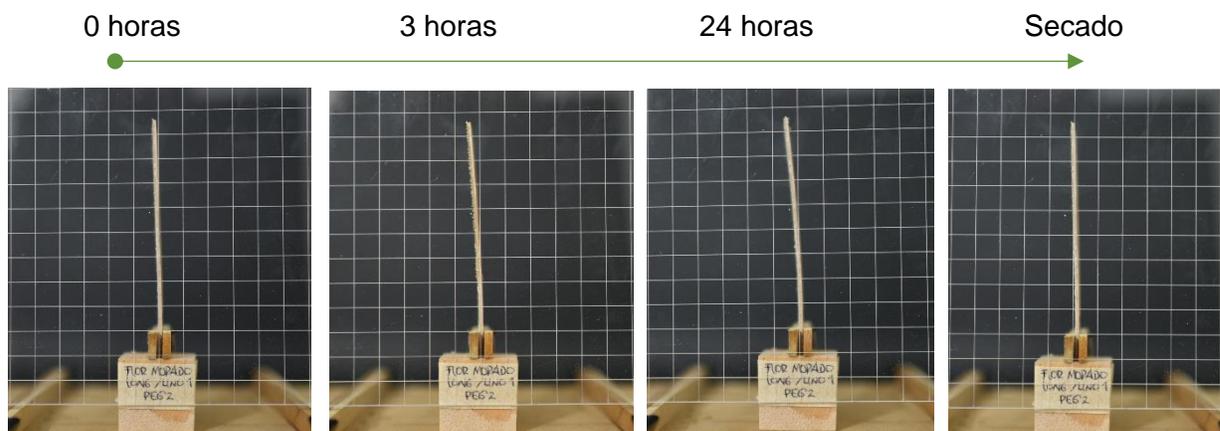
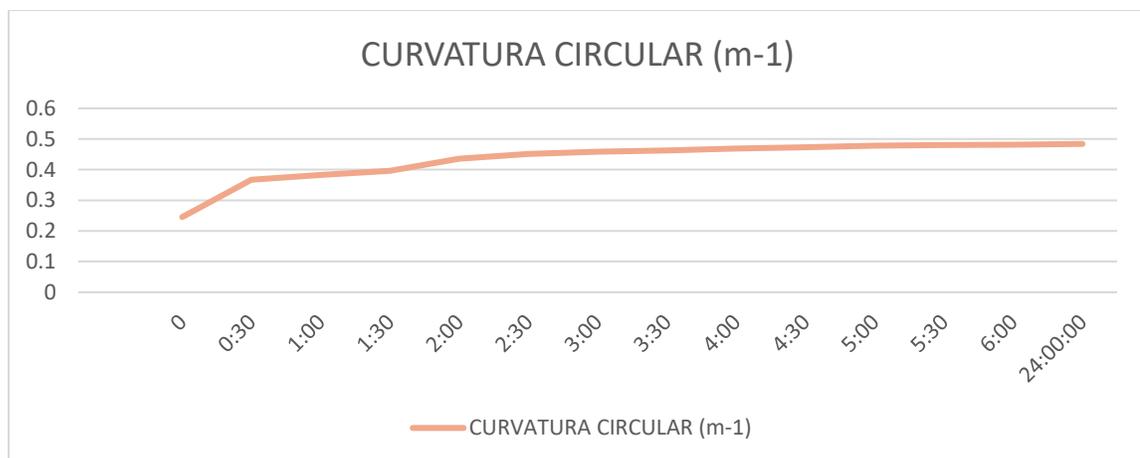


Figura 55 : Curvatura Circular (FM+Long+Lino1+Peg2)



- **FM+LONG+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino orgánico mixto presenta una respuesta máxima de 0.712269 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.66	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.2426439%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 56 : FM+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

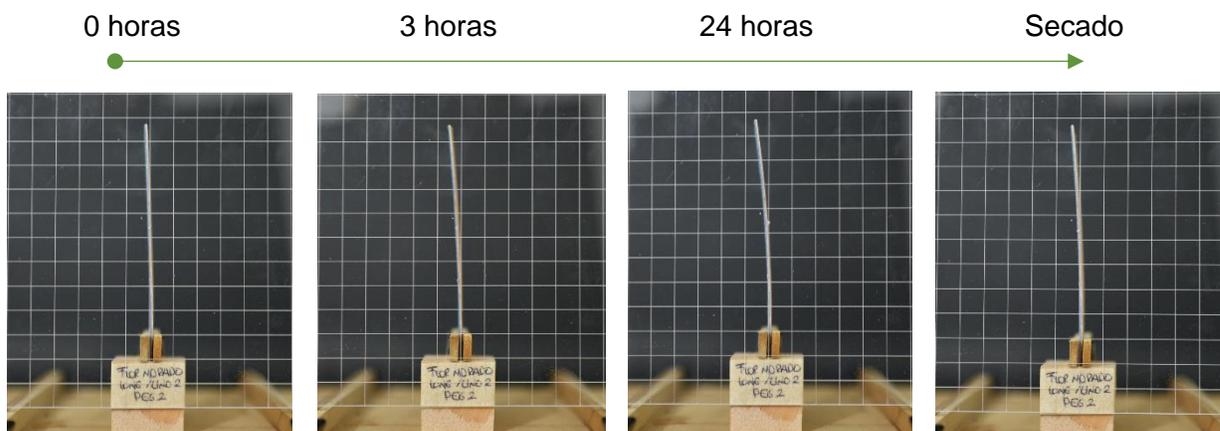
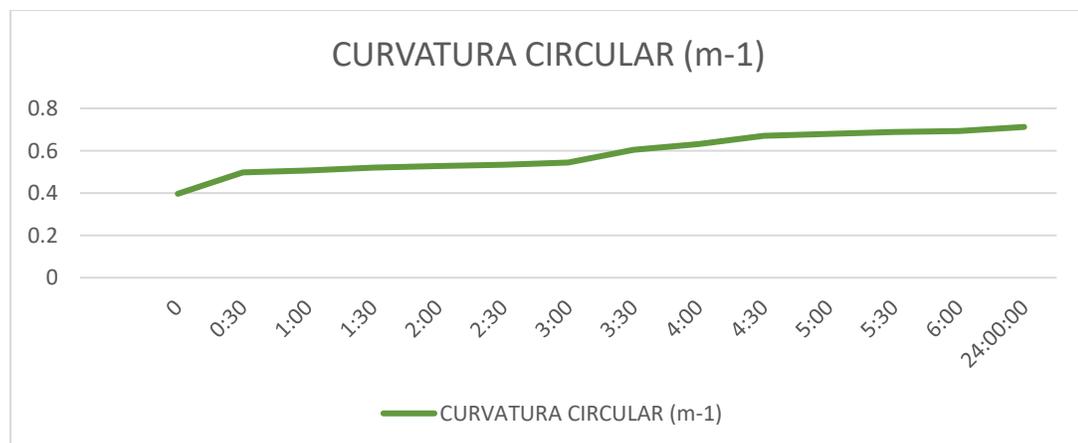


Figura 57 : Curvatura Circular (FM+Long+Lino2+Peg2)



- **FM+TRANS+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.4205427 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.66	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	3.1139652%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 58 : FM+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

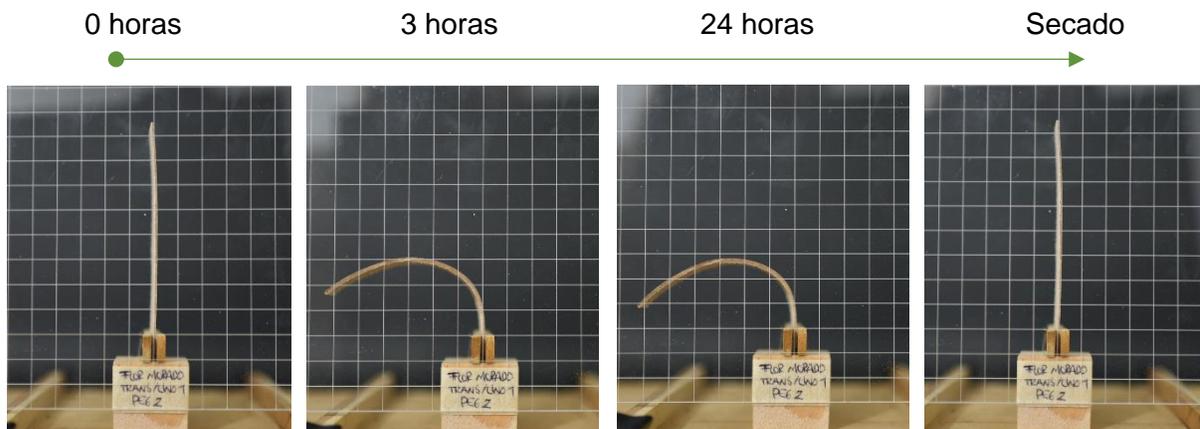
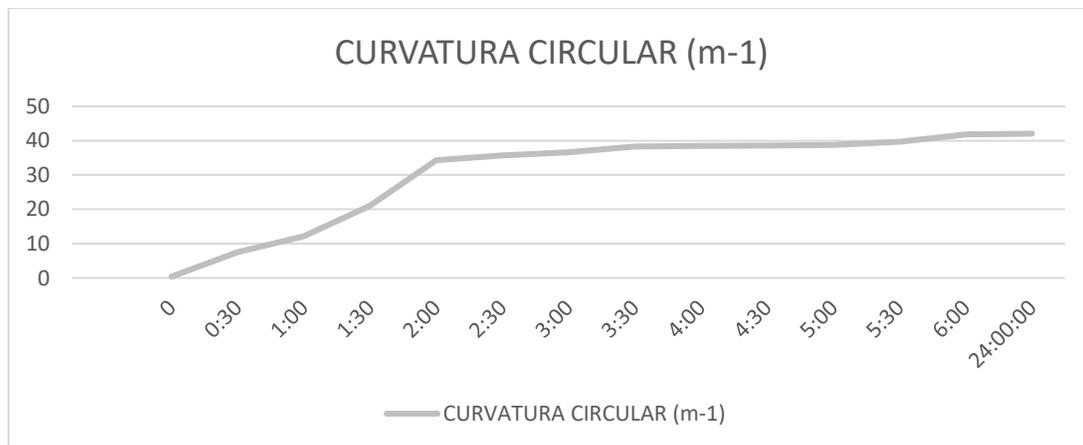


Figura 59 : Curvatura Circular (FM+Trans+Lino1+Peg2)



- **FM+TRANS+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino orgánico mixto presenta una respuesta máxima de 0.38014 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.66	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	3.1139652%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 60 : FM+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 61 : Curvatura Circular (FM+Trans+Lino2+Peg2)

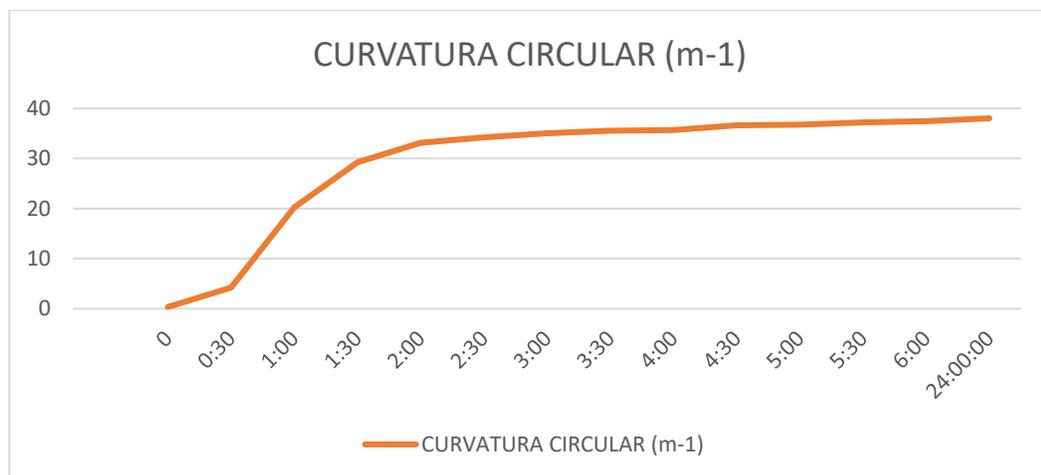
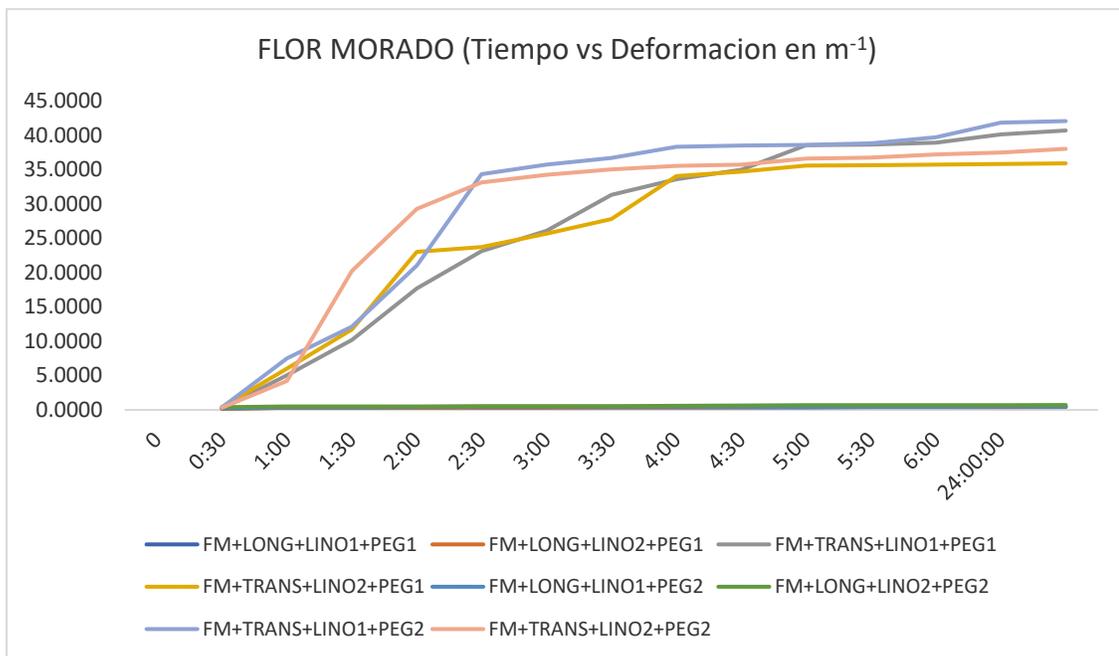


Figura 62 : Grafica de tiempo vs deformación FLOR MORADO

Como se observa en la gráfica de tiempo vs deformación de las probetas de Flor Morado, en el registro entre los 30 minutos y los 90 minutos se presenta una rápida absorción inicial, donde el radio de deformación es más del 40% respecto al inicial. Se presenta una mayor deformación en el sentido transversal con el uso del pegante 1 – PL-285, aunque se presentó delaminación con las probetas transversales tanto con PL-285, como con la Cola de contacto en Spray Soudal que son las combinaciones:
 FM+TRANS+LINO1+PEG1 y FM+TRANS+LINO1+PEG2

PROBETAS SYCAMORE

- **SY+LONG+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.46467 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.3080444%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 63 : SY+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

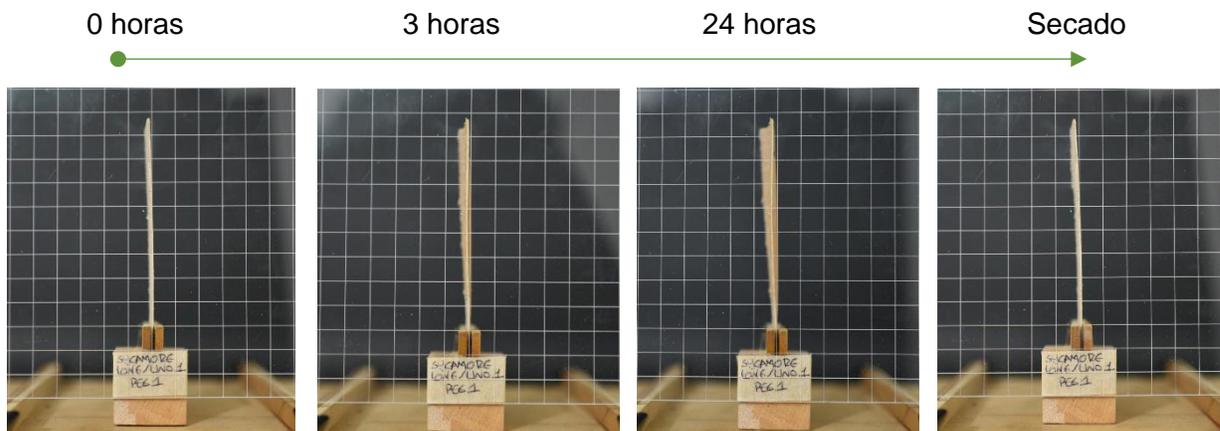
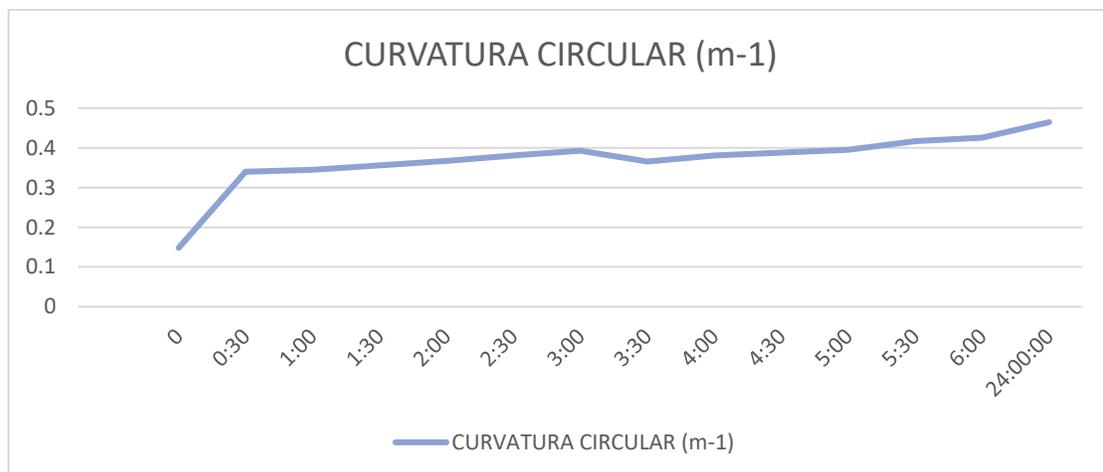


Figura 64 : Curvatura Circular (SY+Long+Lino1+Peg1)



- **SY+LONG+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.57255 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPEJOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.3080444%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 65 : SY+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

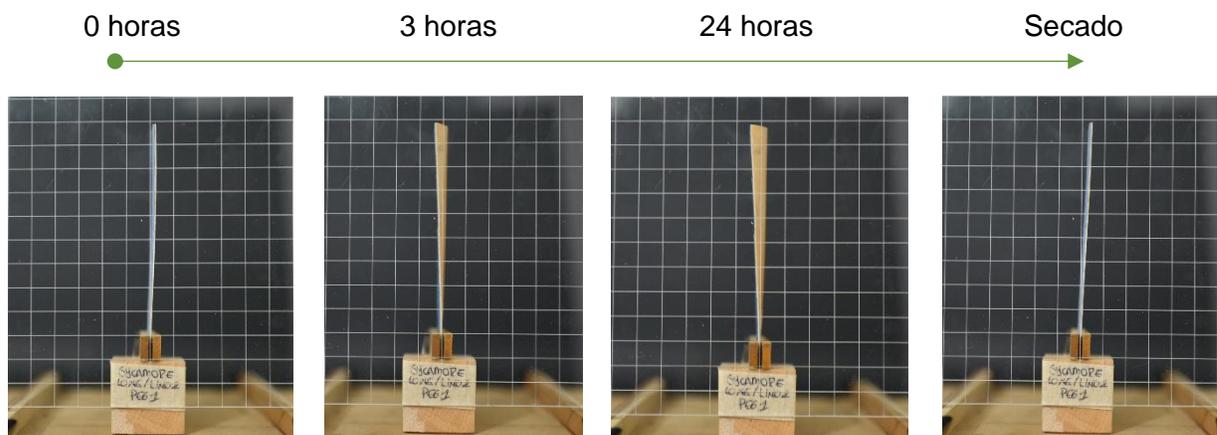
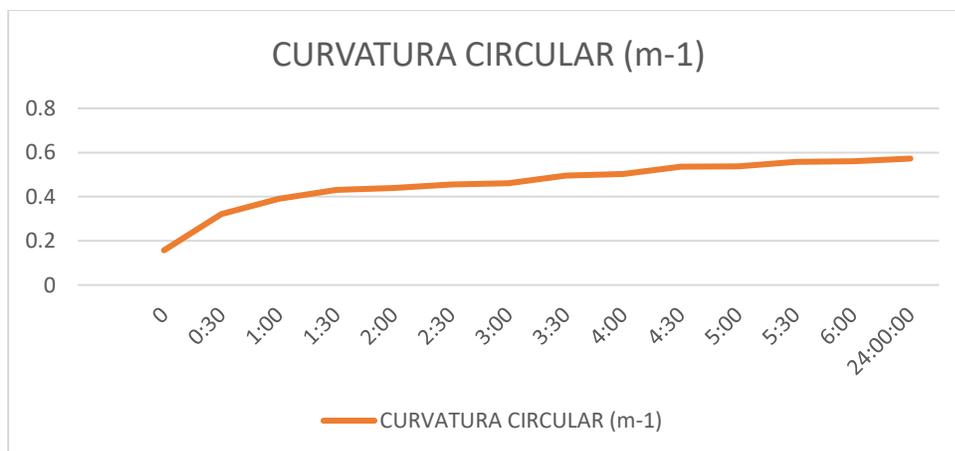


Figura 66 : Curvatura Circular (SY+Long+Lino2+Peg1)



- SY+TRANS+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 147.349 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	10.0640188%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 67 : SY+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

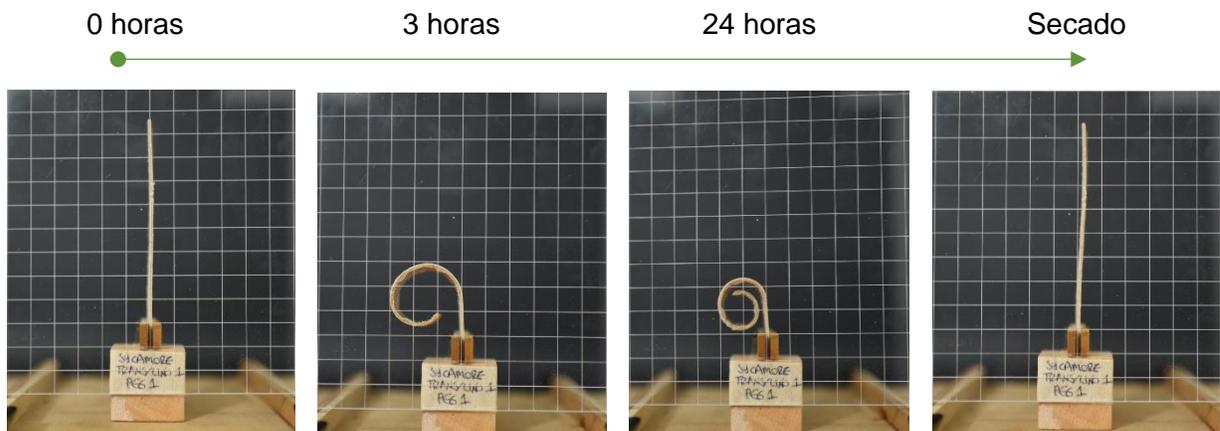
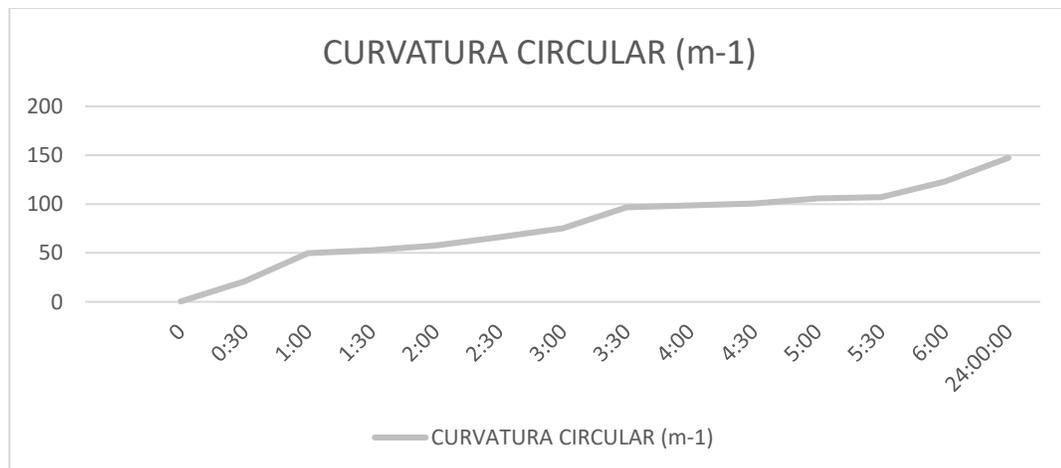


Figura 68 : Curvatura Circular (SY+Trans+Lino1+Peg1)



- SY+TRANS+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 130.849 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	10.0640188%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 69 : SY+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

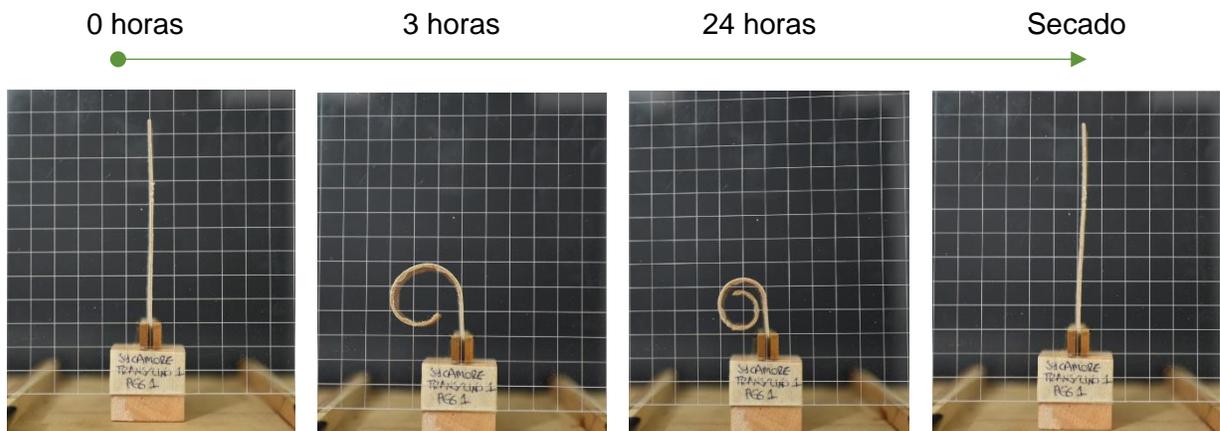
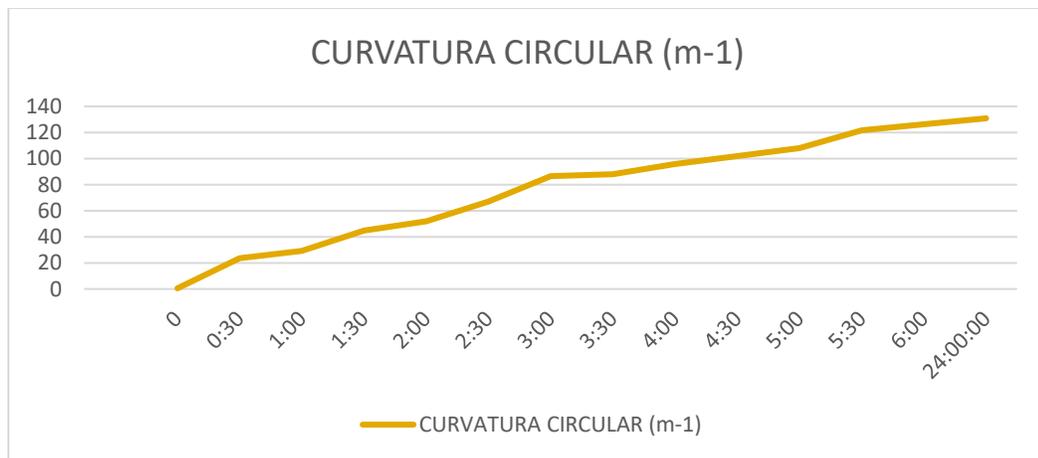


Figura 70 : Curvatura Circular (SY+Trans+Lino2+Peg1)



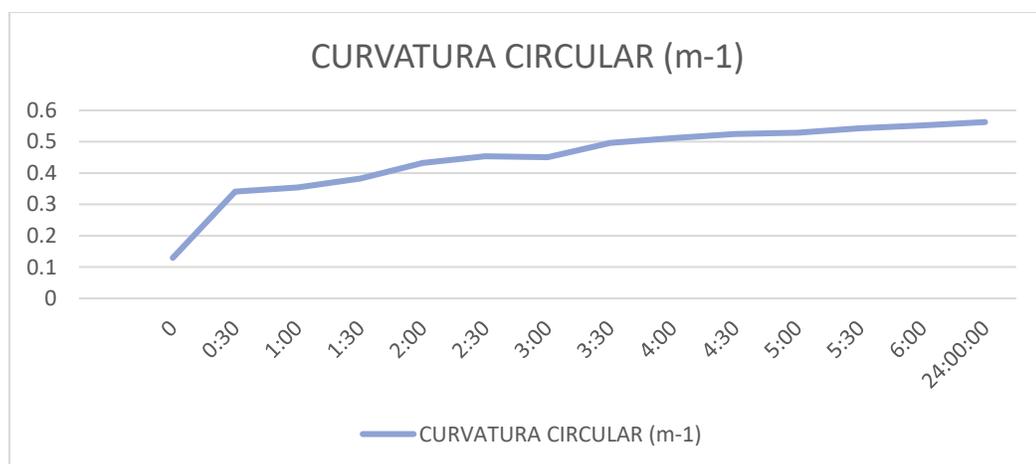
- **SY+LONG+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.56274 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.3080444%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 71 : SY+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 72 : Curvatura Circular (SY+Long+Lino1+Peg2)



- **SY+LONG+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.75417 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.3080444%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 73 : SY+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

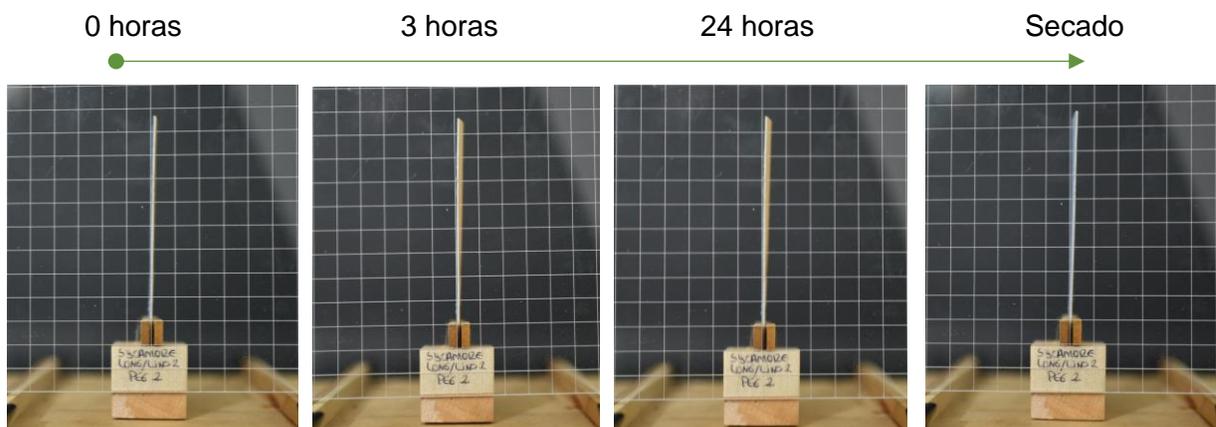
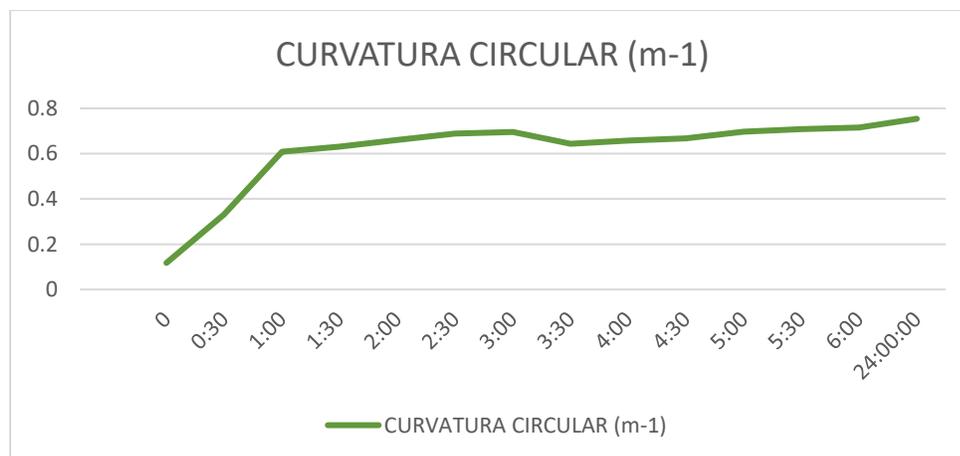


Figura 74 : Curvatura Circular (SY+Long+Lino2+Peg2)



- SY+TRANS+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 51.9796 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEJOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	10.0640188%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 75 : SY+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

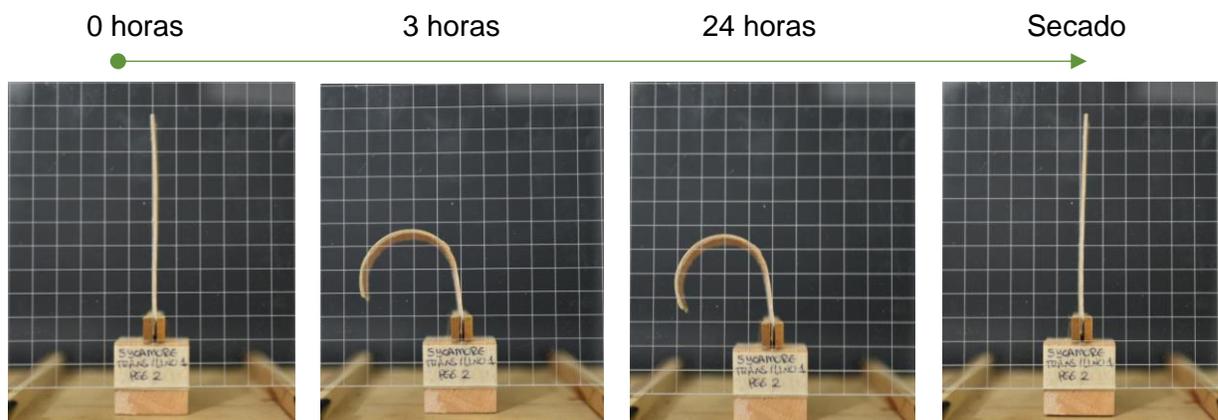
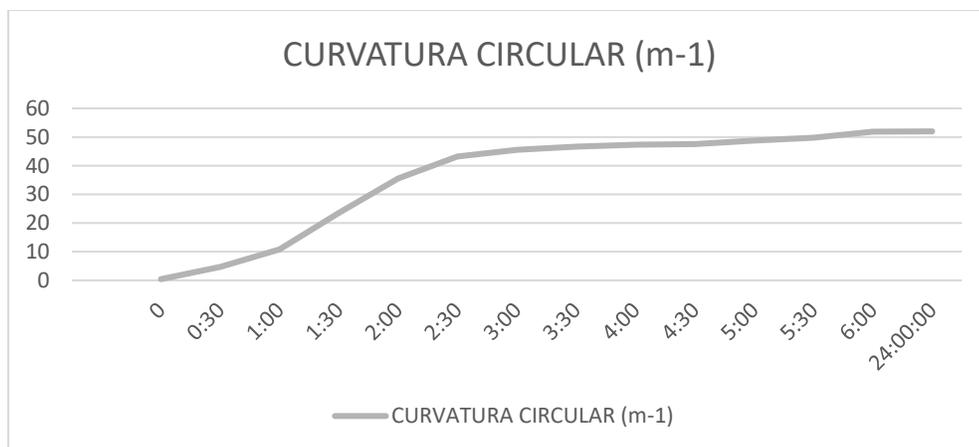


Figura 76 : Curvatura Circular (SY+Trans+Lino1+Peg2)



- SY+TRANS+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 12.11 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	10.0640188%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 77 : SY+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

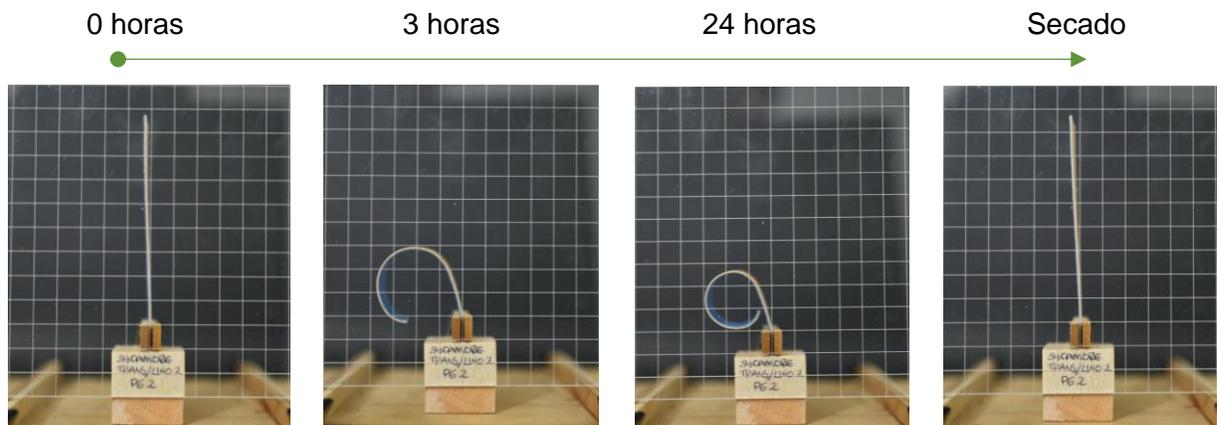


Figura 78 : Curvatura Circular (SY+Trans+Lino2+Peg2)

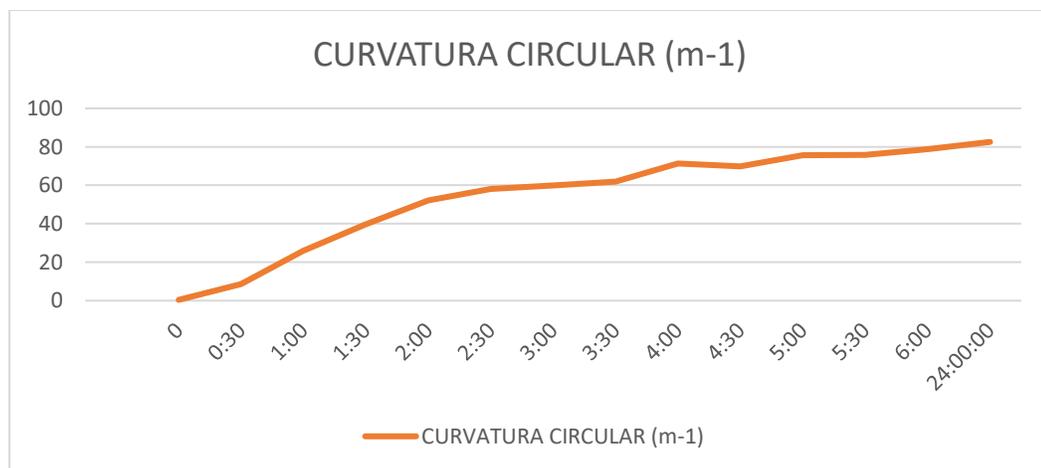
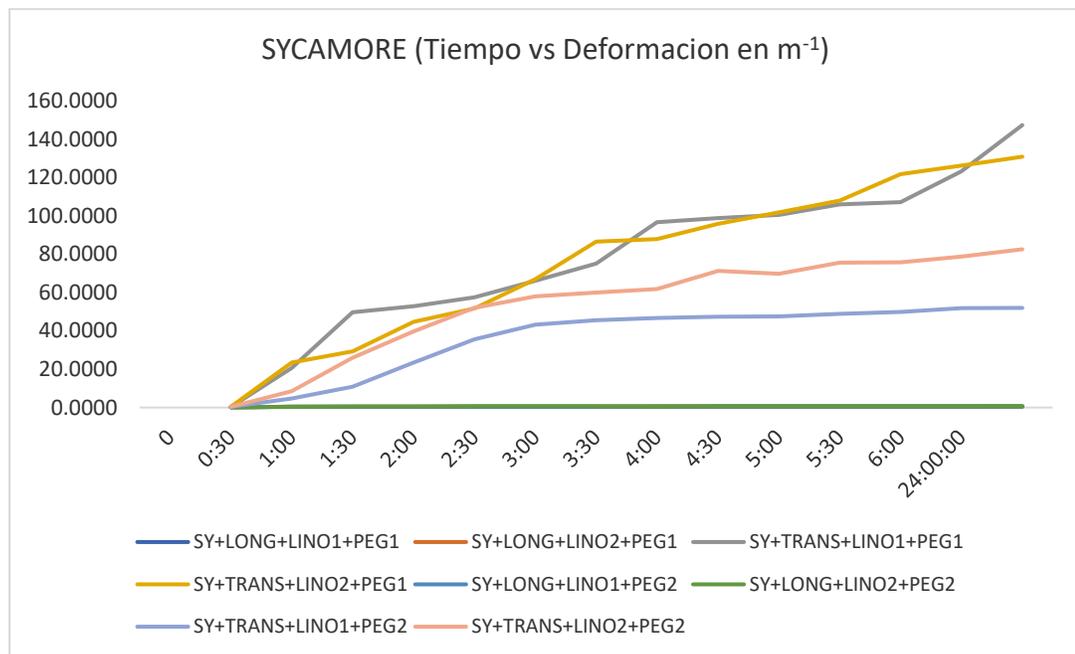


Figura 79 : Grafica de tiempo vs deformación SYCAMORE

Como se observa en la gráfica de tiempo vs deformación de las probetas de Sycamore, en el registro entre los 30 minutos y los 90 minutos se presenta una rápida absorción inicial, donde el radio de deformación es más del 85% respecto al inicial. Se presenta una mayor deformación en el sentido transversal con el uso del pegante 1 – PL-285, y con el lino orgánico se presentan mayores deformaciones.

Aunque se presentó delaminación con el uso del pegante PL-285, con las combinaciones: SY+LONG+LINO2+PEG1 y SY+TRANS+LINO1+PEG1

PROBETAS PALISANDRO

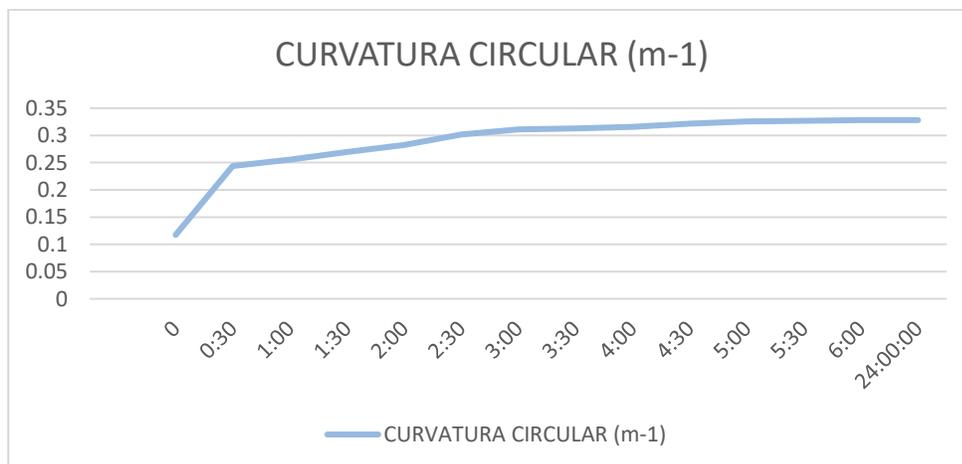
- PA+LONG+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.32805 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.1529257%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 80 : PA+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 81 : Curvatura Circular (PA+Long+Lino1+Peg1)



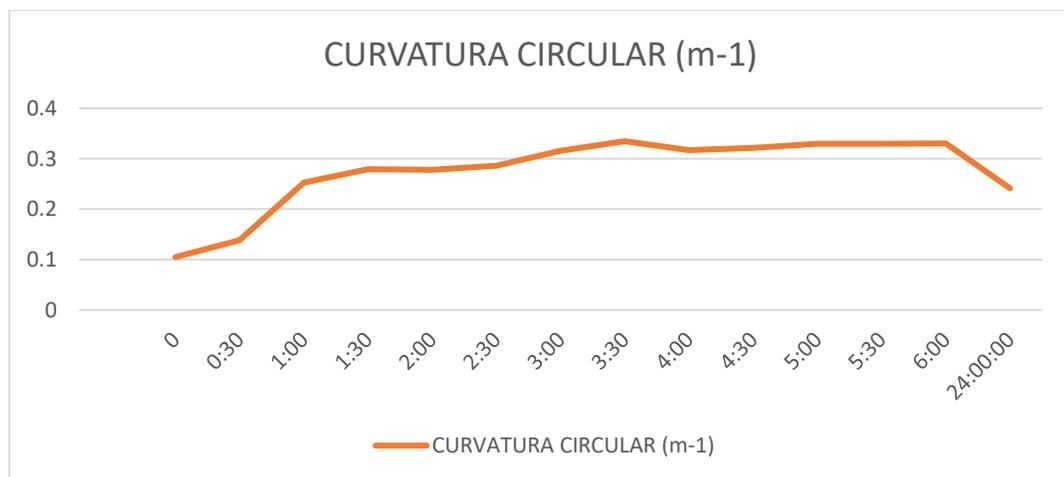
- **PA+LONG+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.24116 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, y deformación moderada del estado inicial.

ESPECIE 1	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.1529257%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 82 : PA+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 83 : Curvatura Circular (PA+Long+Lino2+Peg1)



- PA+TRANS+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 8.85092 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEJOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	7.8889240%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 84 : PA+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

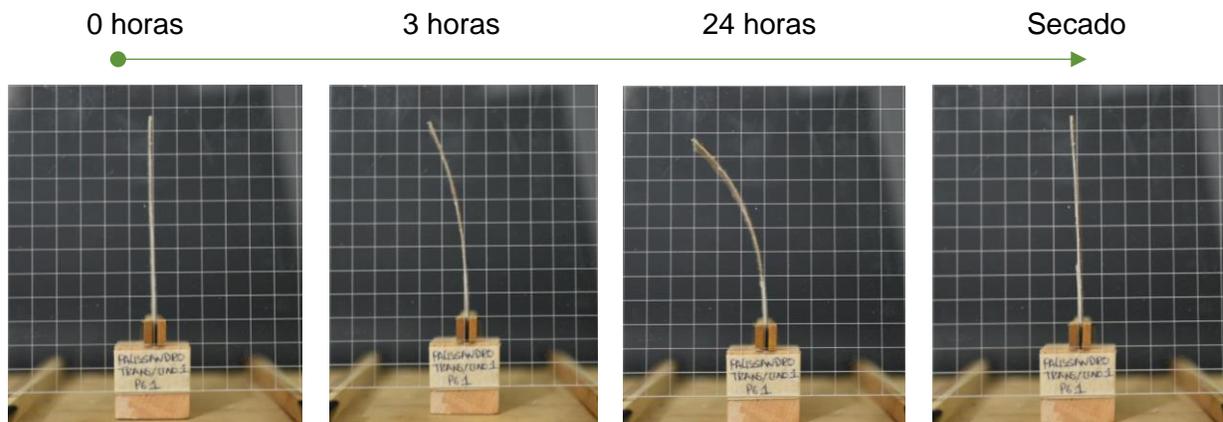
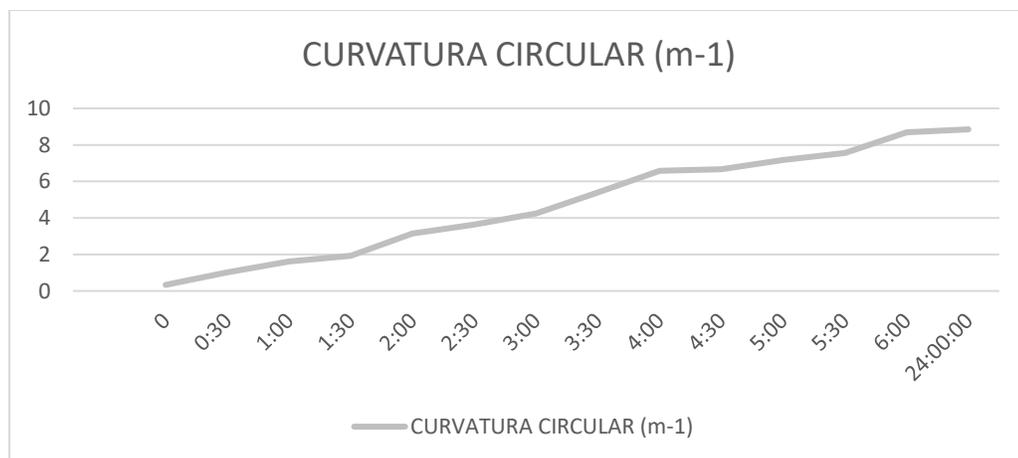


Figura 85 : Curvatura Circular (PA+Trans+Lino1+Peg1)



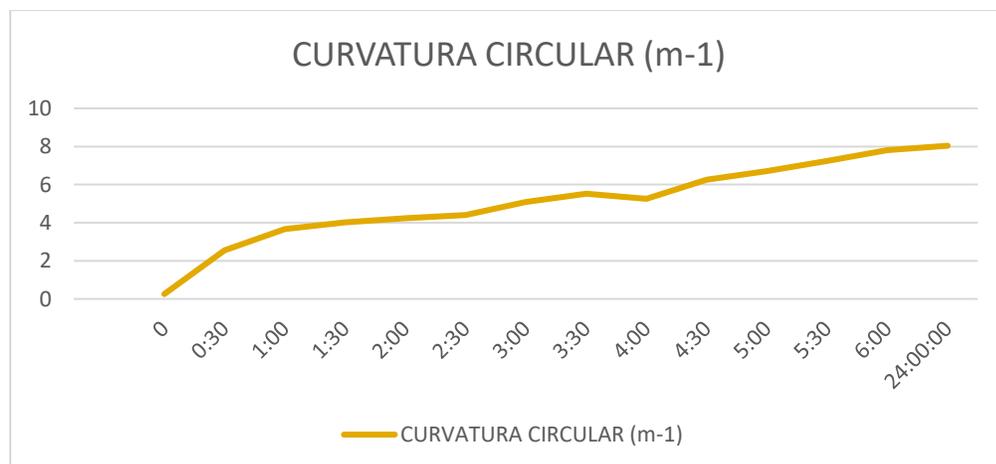
- PA+TRANS+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 8.03854 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	7.8889240%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 86 : PA+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 87 : Curvatura Circular (PA+Trans+Lino2+Peg1)



- PA+LONG+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.46284 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.1529257%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 88 : PA+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

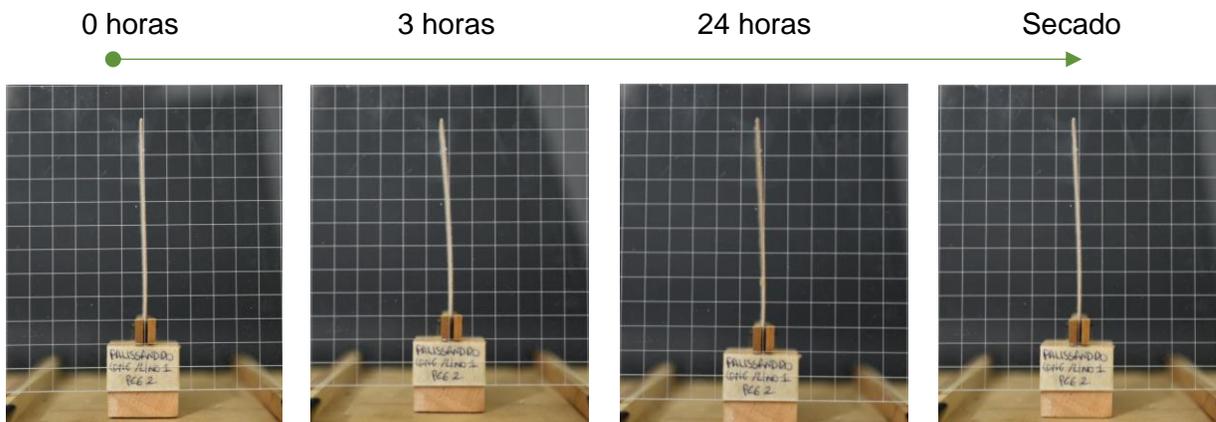
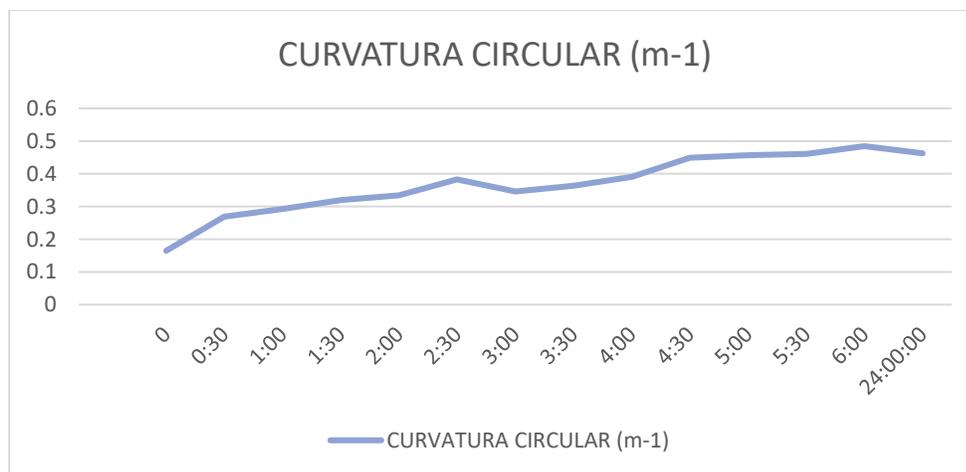


Figura 89 : Curvatura Circular (PA+Long+Lino1+Peg2)



- PA+LONG+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.52341 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.1529257%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 90 : PA+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

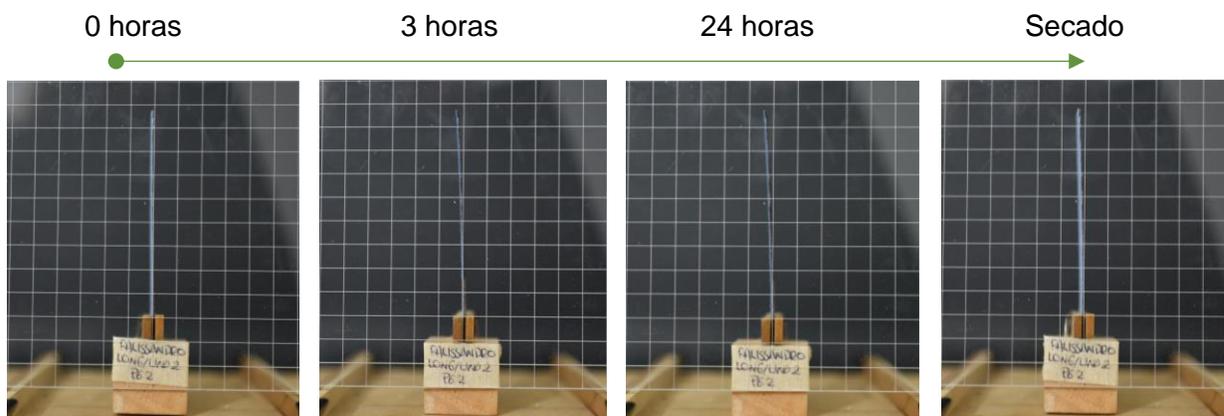
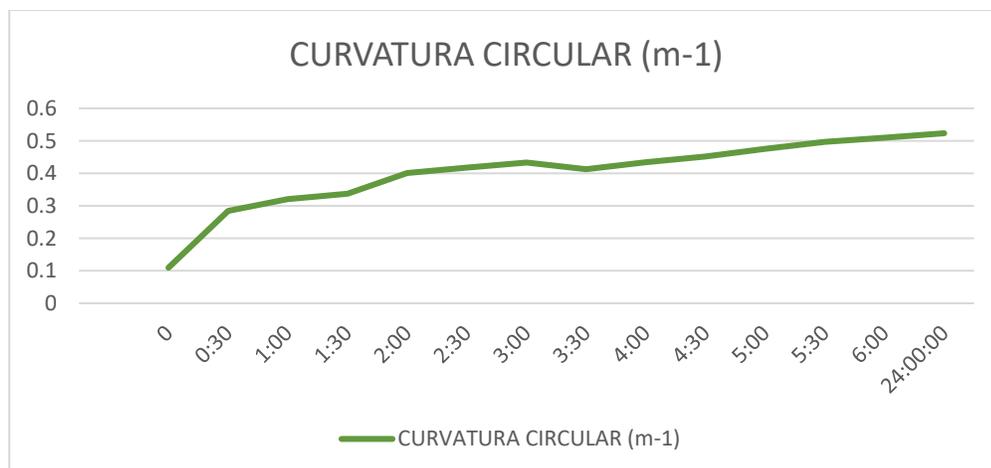


Figura 91 : Curvatura Circular (PA+Long+Lino2+Peg2)



- PA+TRANS+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 10.08116 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	7.8889240%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 92 : PA+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

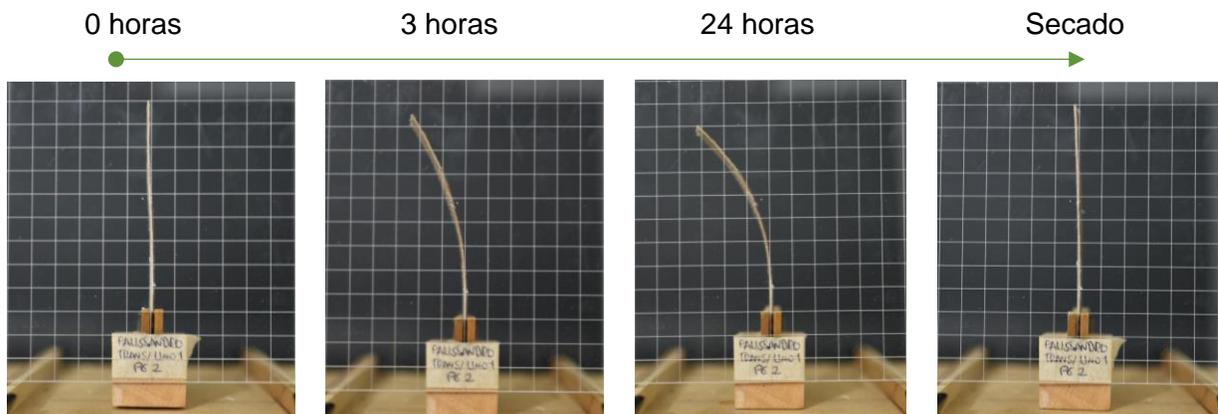
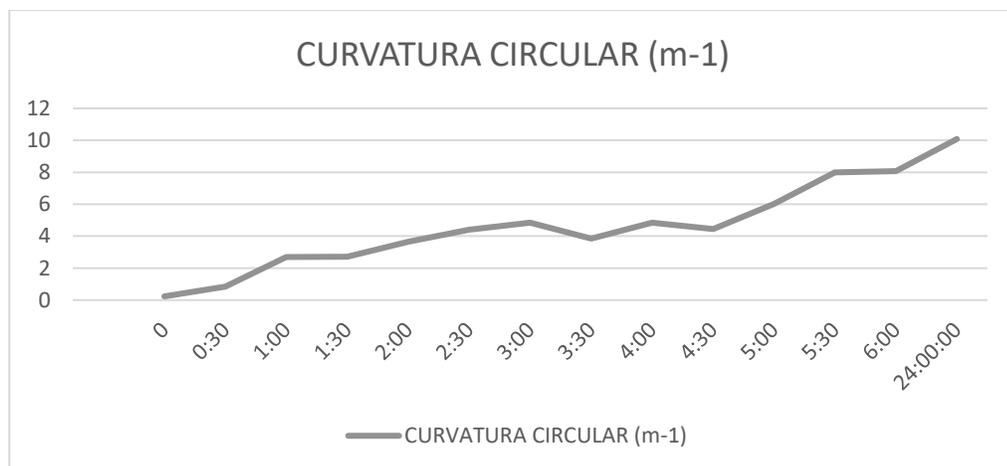


Figura 93 : Curvatura Circular (PA+Trans+Lino1+Peg2)



- PA+TRANS+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 12.74795 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.50	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	7.8889240%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 94 : PA+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

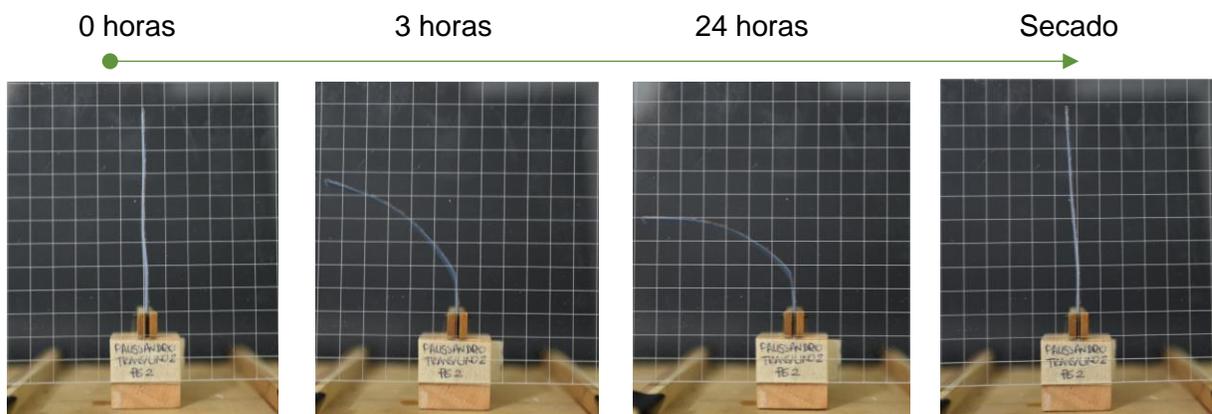


Figura 95 : Curvatura Circular (PA+Trans+Lino2+Peg2)

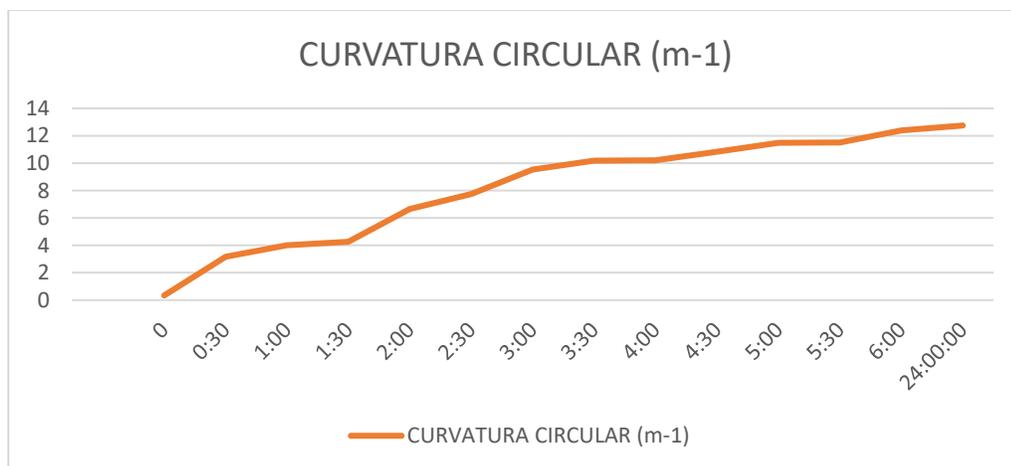
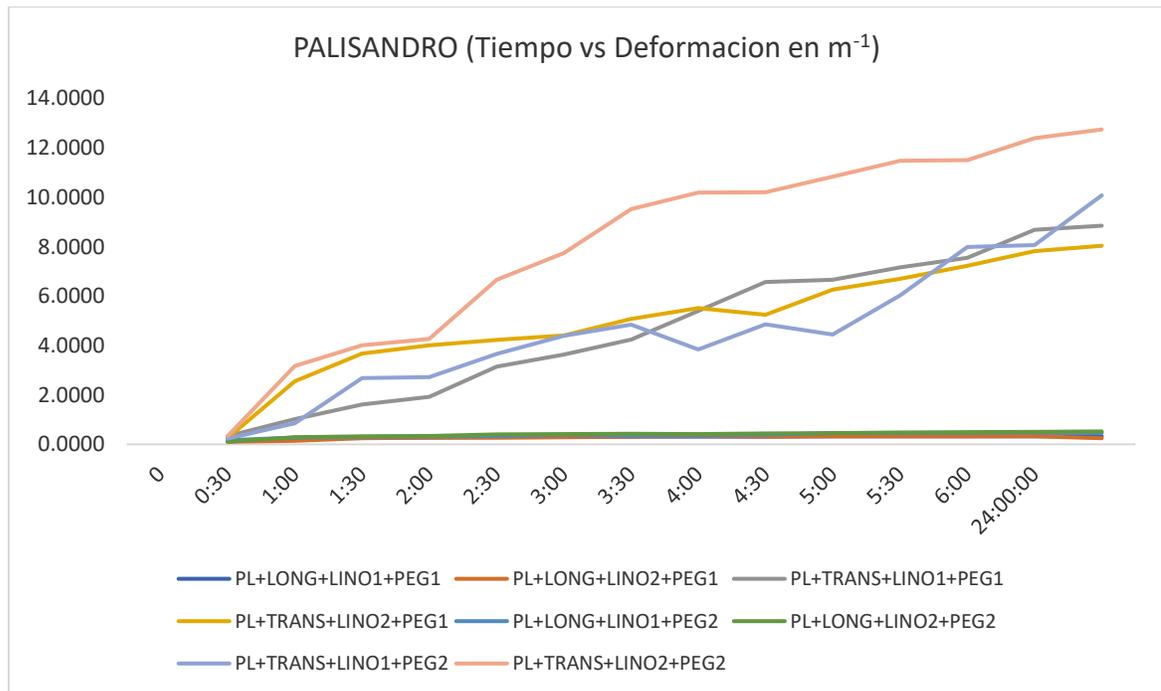


Figura 96 : Grafica de tiempo vs deformación PALISANDRO

Como se observa en la gráfica de tiempo vs deformación de las probetas de Palisandro, en el registro entre los 30 minutos y los 90 minutos se presenta una rápida absorción inicial, donde el radio de deformación es más del 45% respecto al inicial. Se presenta una mayor deformación en el sentido transversal con el uso del pegante 1 – PL-285, y con el lino orgánico se presentan mayores deformaciones.

Se presentó delaminación con la probeta transversal PA+TRANS+LINO1+PEG2, en la que se empleó la matriz de unión de Cola de contacto en Spray Soudal.

PROBETAS TECA NATURAL

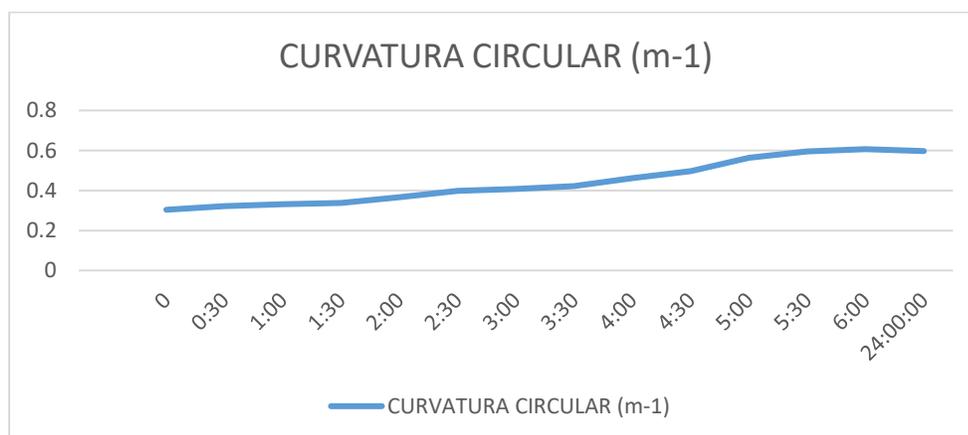
- TN+LONG+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.59633 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación moderada del estado inicial.

ESPECIE 1	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPEJOR (mm)	0.44	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.00543382%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 97 : TN+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 98: Curvatura Circular (TN+Long+Lino1+Peg1)



- **TN+LONG+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.318882 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación moderada del estado inicial.

ESPECIE 1	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPEJOR (mm)	0.44	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.00543382%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 99 : TN+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

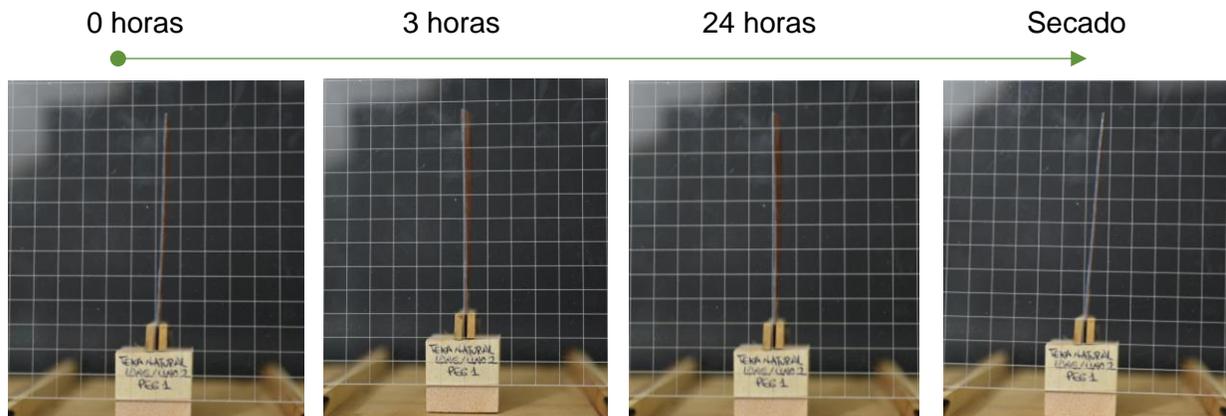
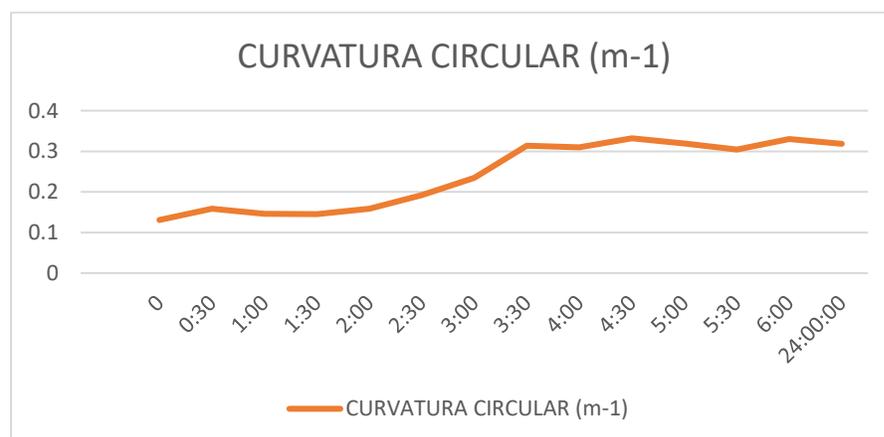


Figura 100 : Curvatura Circular (TN+Long+Lino2+Peg1)



- TN+TRANS+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 47.1054 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación moderada del estado inicial.

ESPECIE 1	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEJOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	5.61601 %
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 101 : TN+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

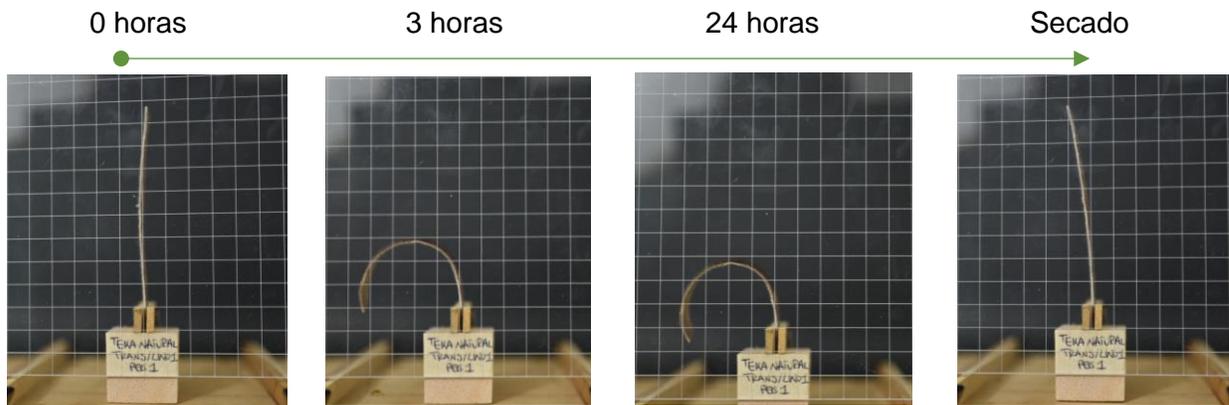
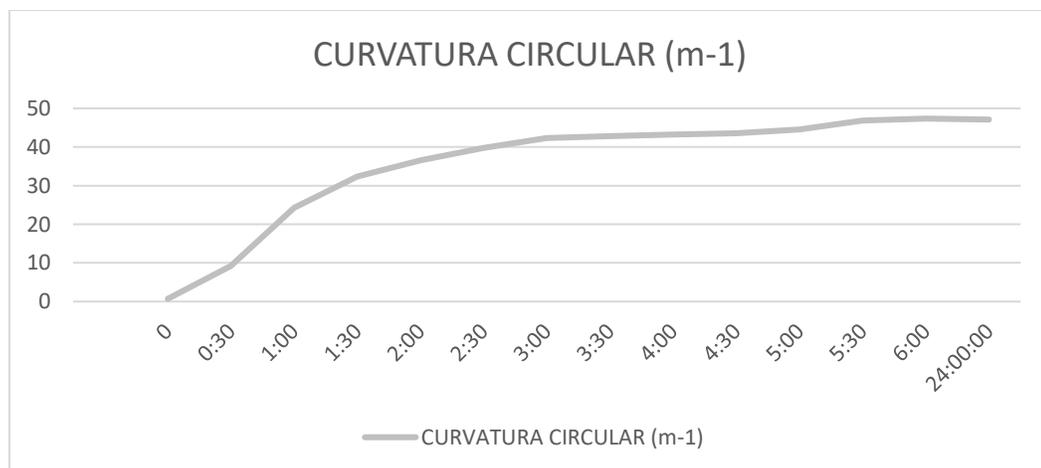


Figura 102 : Curvatura Circular (TN+Trans+Lino1+Peg1)



- **TN+TRANS+LINO2+PEG1**: Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 55.3223 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	5.61601 %
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 103 : TN+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

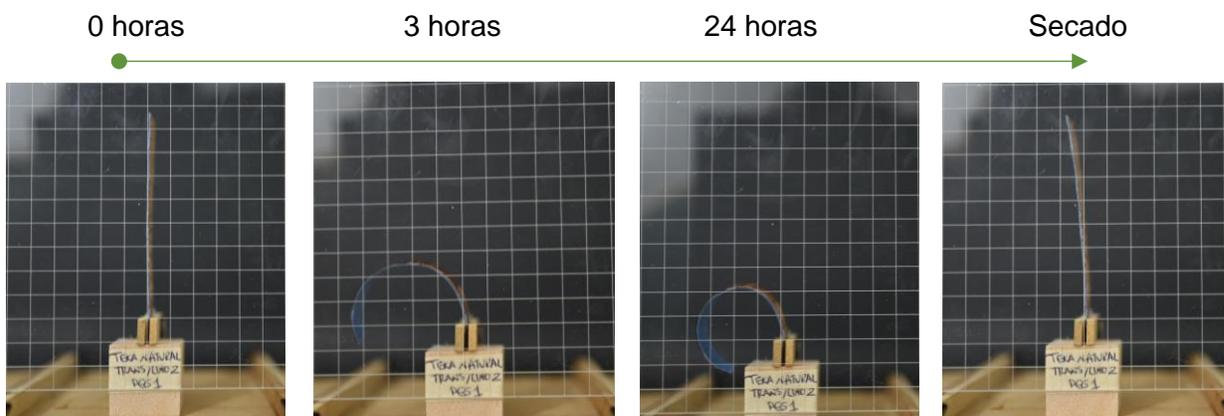
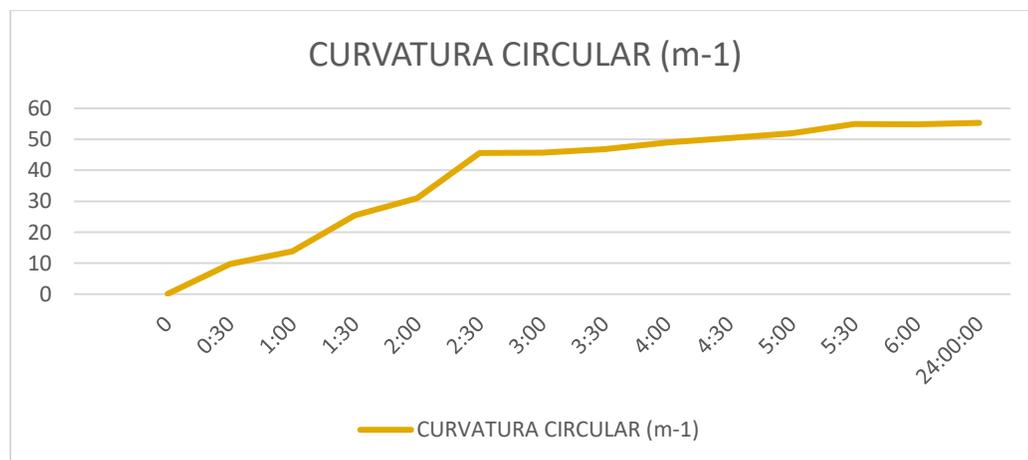


Figura 104 : Curvatura Circular (TN+Trans+Lino2+Peg1)



- **TN+LONG+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.35081 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.44	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.00543382%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 105 : TN+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

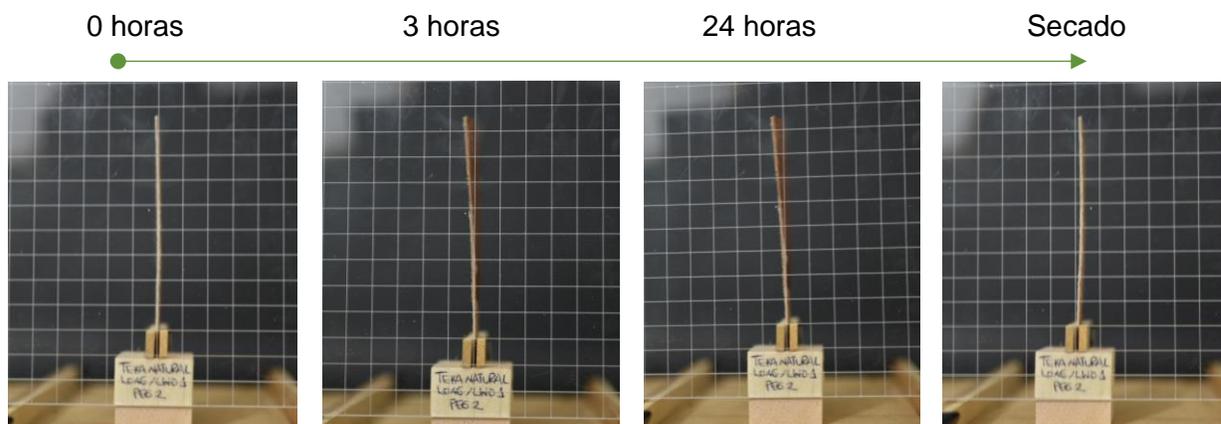
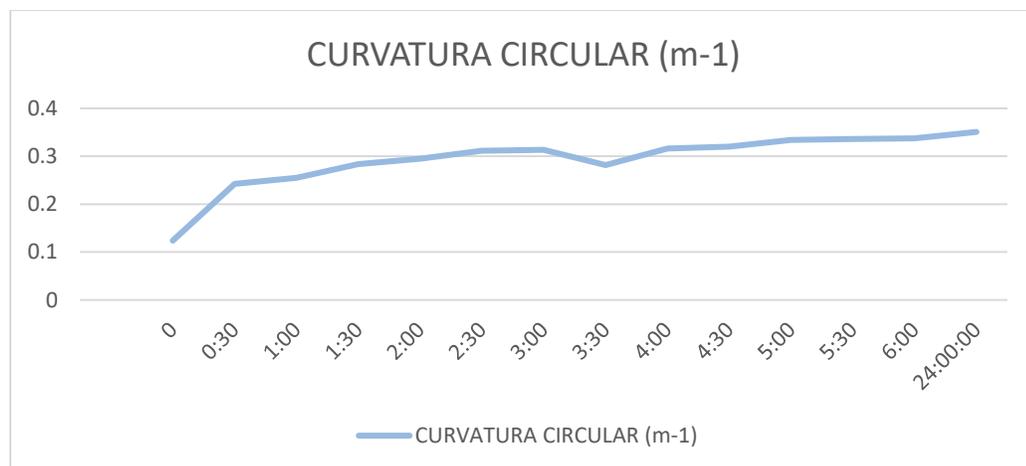


Figura 106 : Curvatura Circular (TN+Long+Lino1+Peg2)



- **TN+LONG+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 0.52341 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación moderada del estado inicial.

ESPECIE 1	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPEJOR (mm)	0.44	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.00543382%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 107 : TN+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

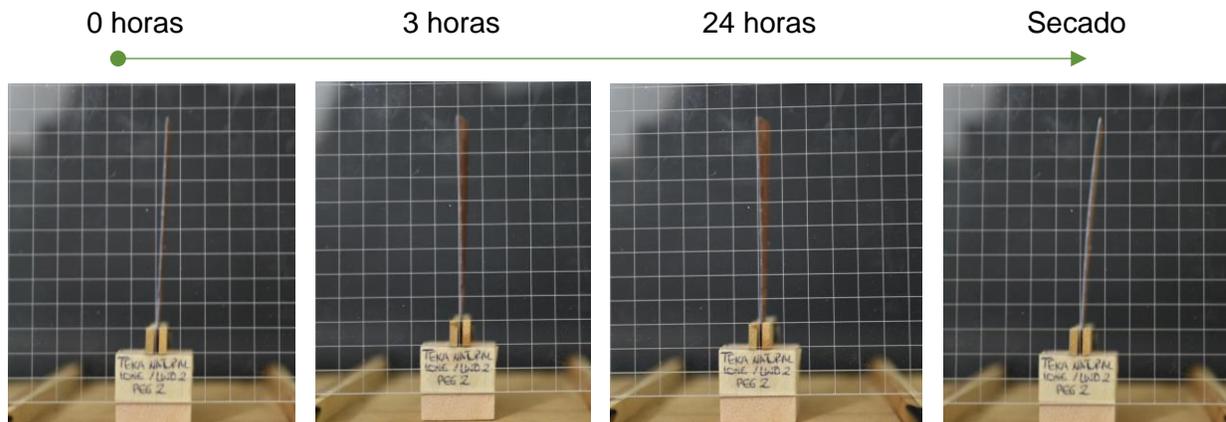
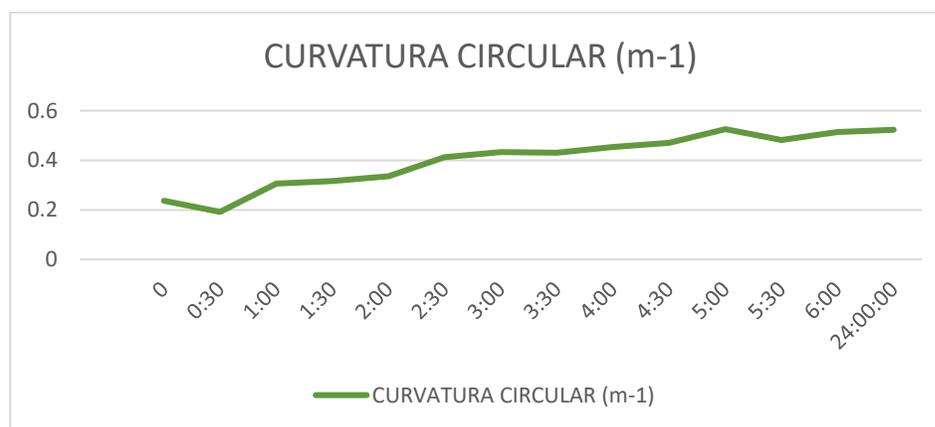


Figura 108 : Curvatura Circular (TN+Long+Lino2+Peg2)



- **TN+TRANS+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 59.7207 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEJOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	5.61601 %
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 109 : TN+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

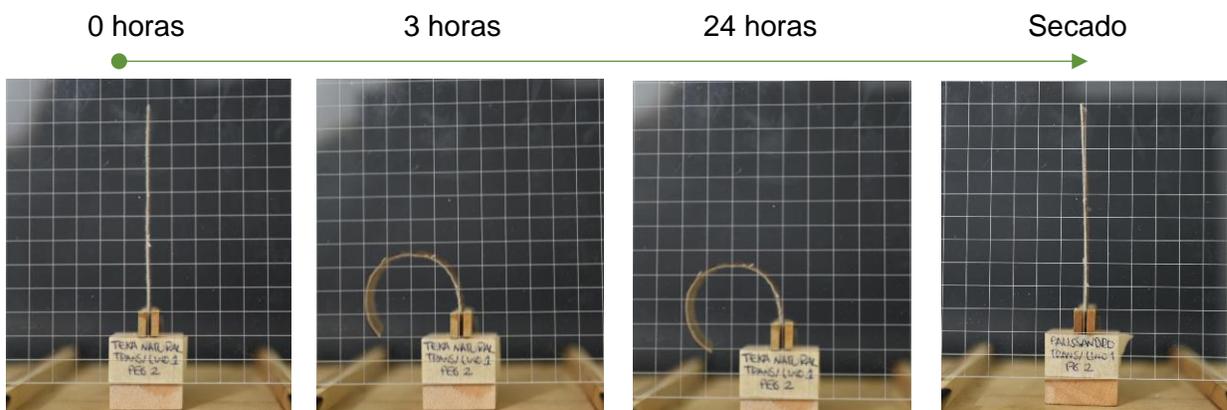
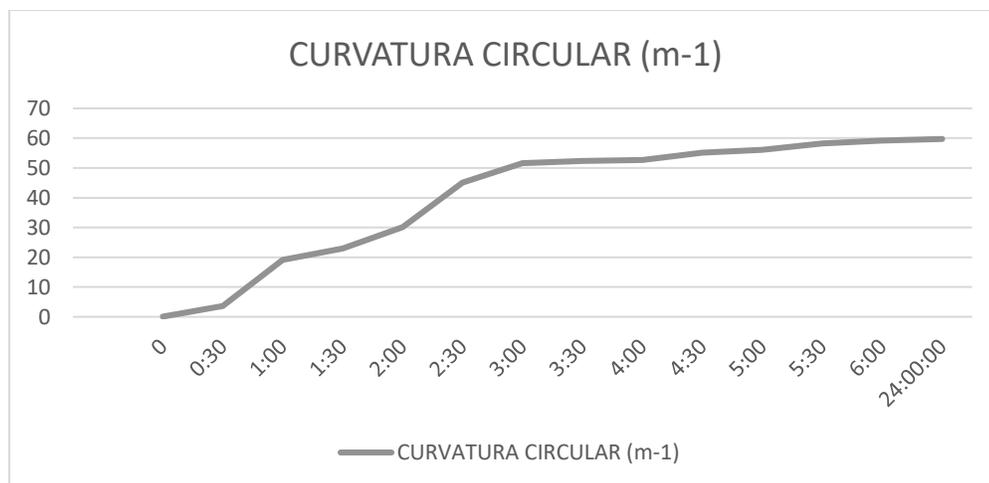


Figura 110 : Curvatura Circular (TN+Trans+Lino1+Peg2)



- TN+TRANS+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 55.3223 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.42	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	5.61601 %
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 111 : TN+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

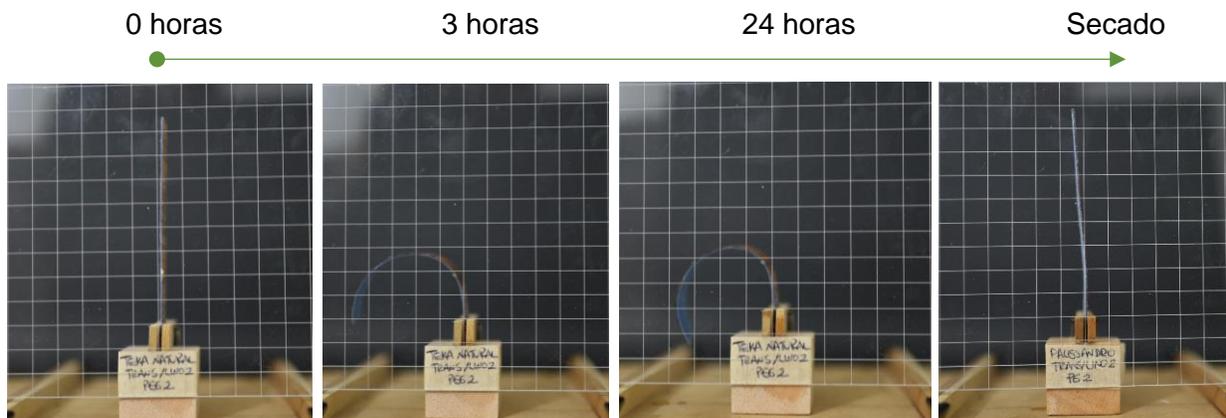


Figura 112 : Curvatura Circular (TN+Trans+Lino2+Peg2)

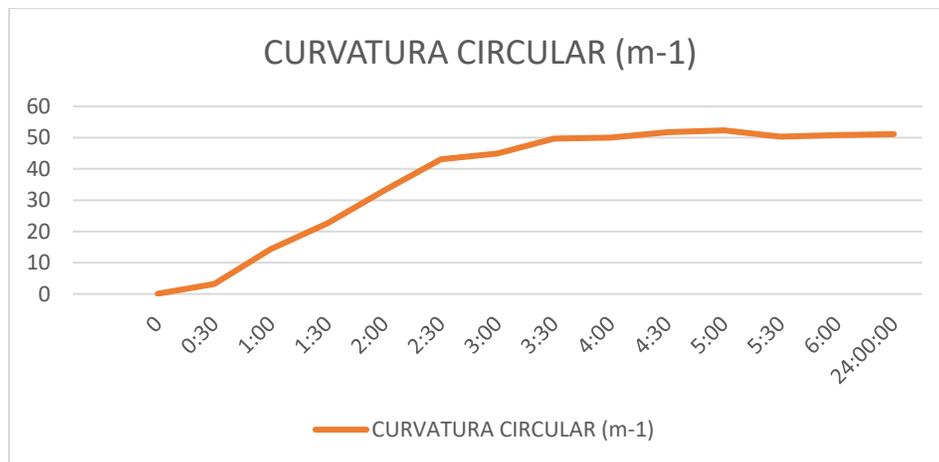
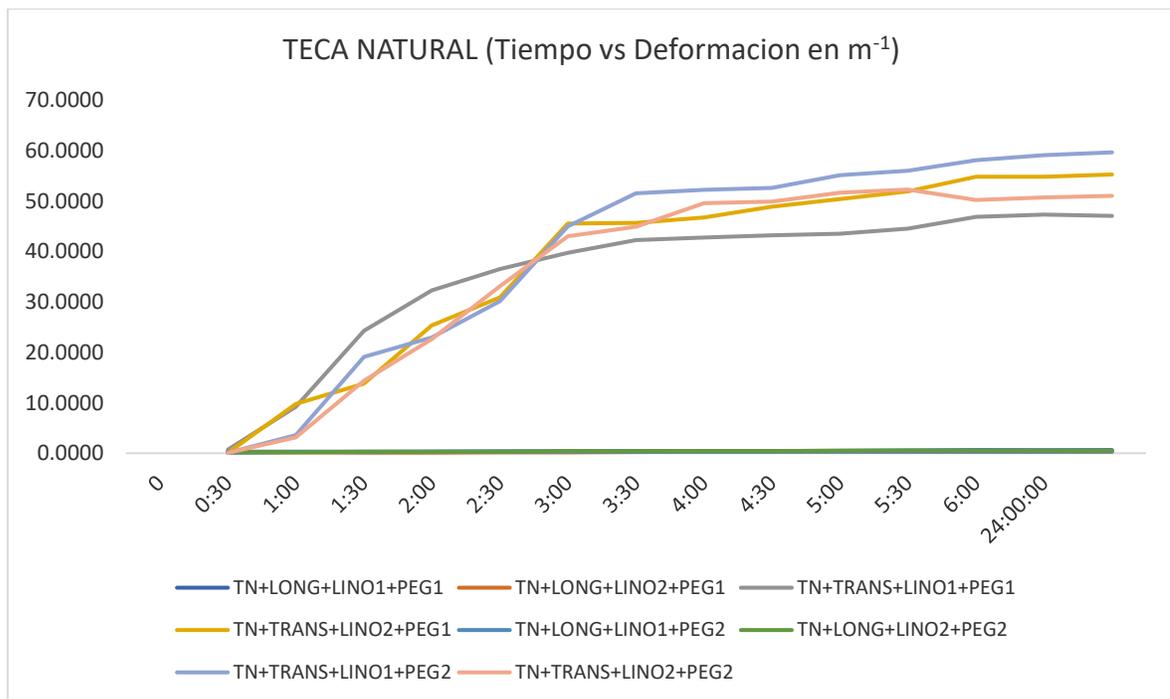


Figura 113 : Grafica de tiempo vs deformación SYCAMORE

Como se observa en la gráfica de tiempo vs deformación de las probetas de Teca Natural, en el registro entre los 30 minutos y los 120 minutos se presenta la absorción inicial, donde el radio de deformación es más del 65% respecto al inicial. Se presenta una mayor deformación en el sentido transversal con el uso del pegante 1 – PL-285, y con el lino orgánico se presentan mayores deformaciones.

Aunque se presentó delaminación con la probeta longitudinal TN+LONG+LINO2+PEG1, en la que se empleó la matriz de unión PL-285.

PROBETAS HAYA

- HA+LONG+LINO1+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 2.22777 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.55	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.4374622%
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 114 : HA+Long+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

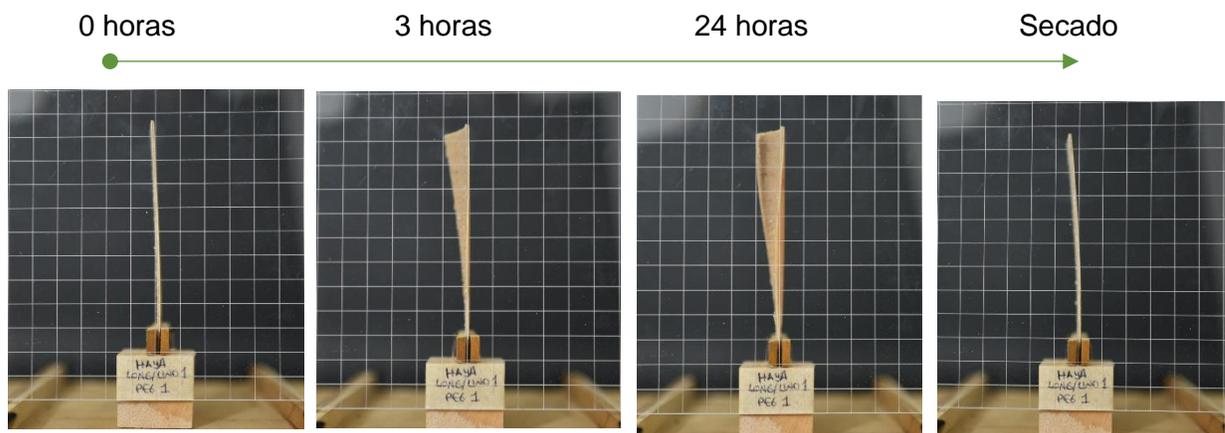
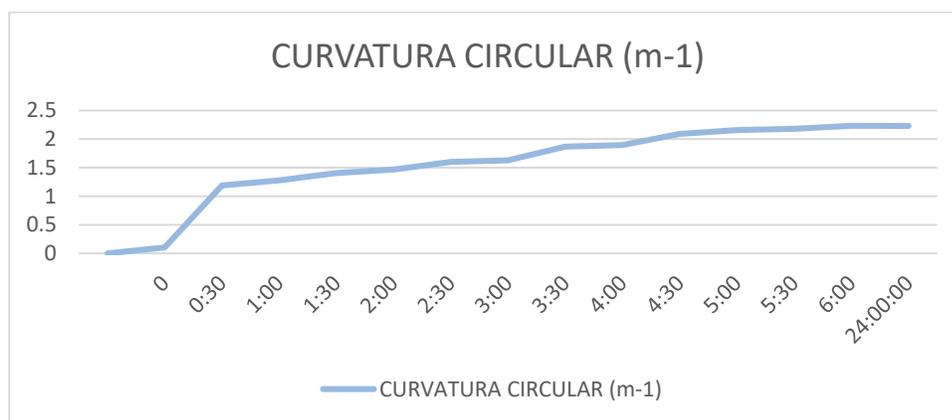


Figura 115 : Curvatura Circular (HA+Long+Lino1+Peg1)



- **HA+LONG+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino orgánico mixto presenta una respuesta máxima de 2.41834 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.55	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.4374622%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.06	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 116 : HA+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

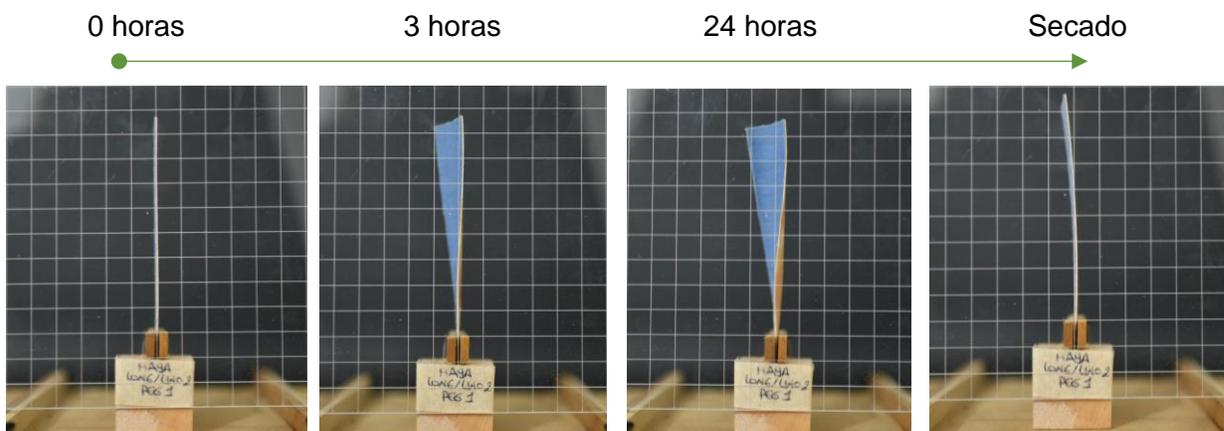
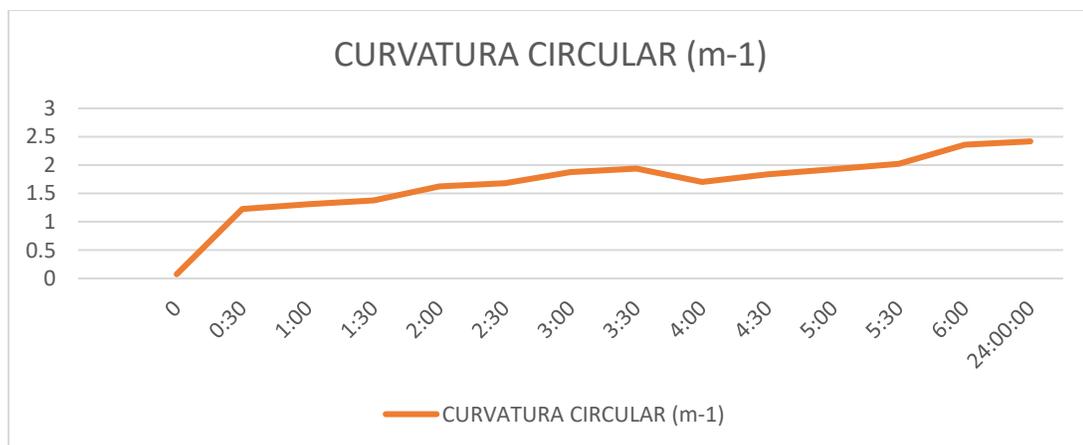


Figura 117 : Curvatura Circular (HA+Long+Lino2+Peg1)



- **HA+TRANS+LINO1+PEG1**: Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 88.74532 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.55	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	11.3001148 %
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 118 : HA+Trans+Lino1+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

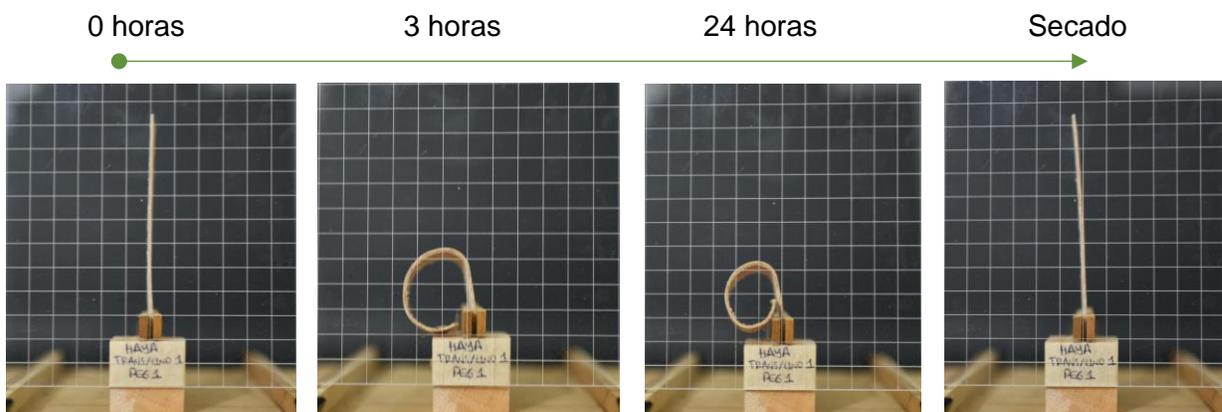
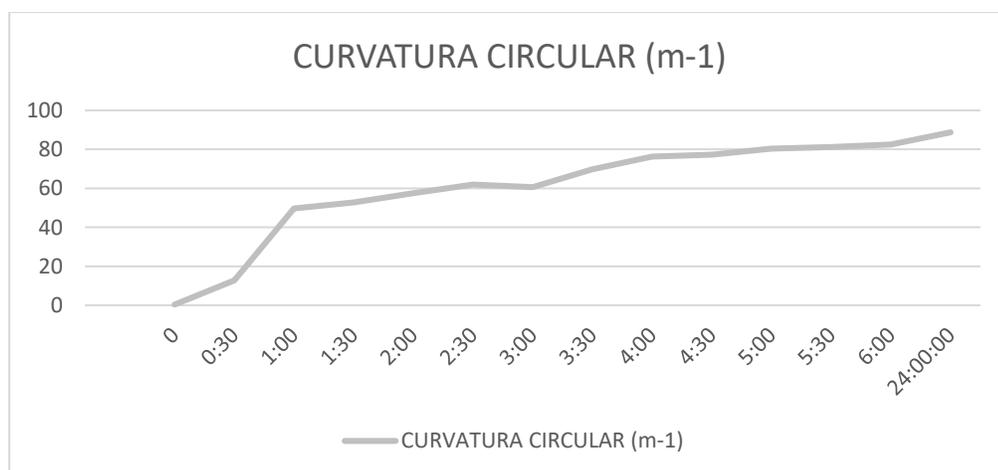


Figura 119 : Curvatura Circular (HA+Trans+Lino1+Peg1)



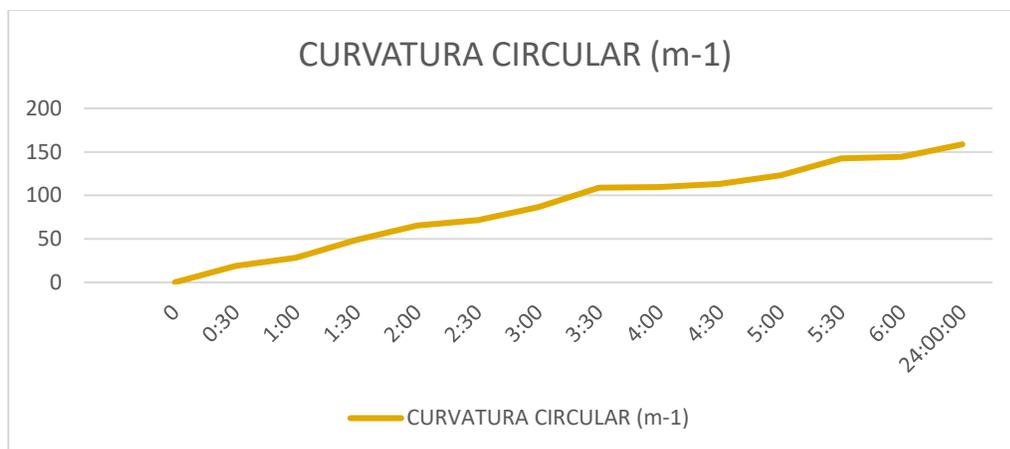
- **HA+TRANS+LINO2+PEG1:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 158.672 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.55	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	11.3001148 %
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.06	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 120 : HA+Trans+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 121 : Curvatura Circular (HA+Trans+Lino2+Peg1)



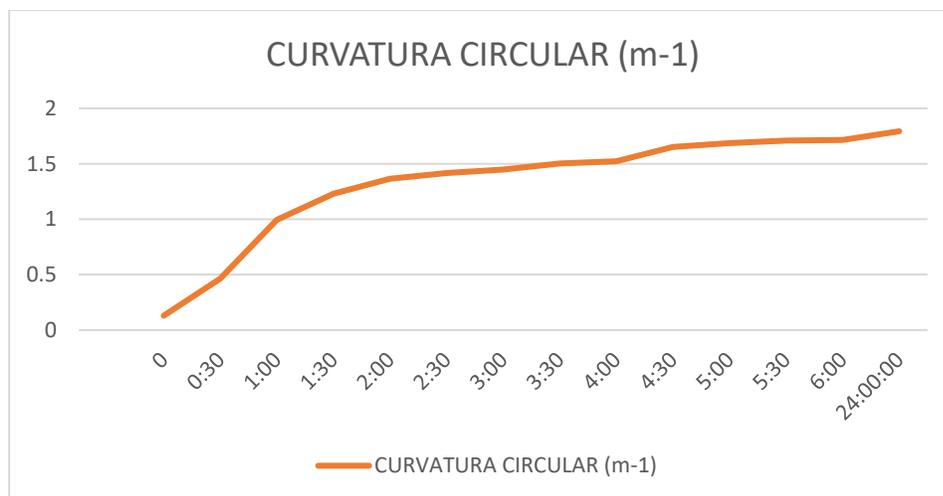
- **HA+LONG+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 1.793411 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.55	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.4374622%
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 122 : HA+Long+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 123 : Curvatura Circular (HA+Long+Lino1+Peg2)



- **HA+LONG+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino orgánico mixto presenta una respuesta máxima de 2.76162 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y recuperación del estado inicial.

ESPECIE 1	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0.55	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	0.4374622%
TIPO DE LINO	ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.06	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 124 : HA+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

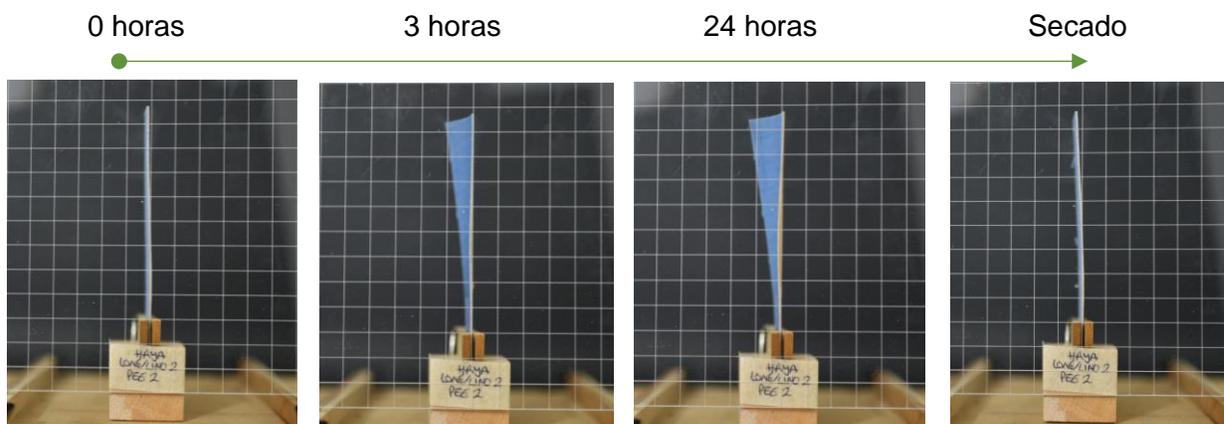
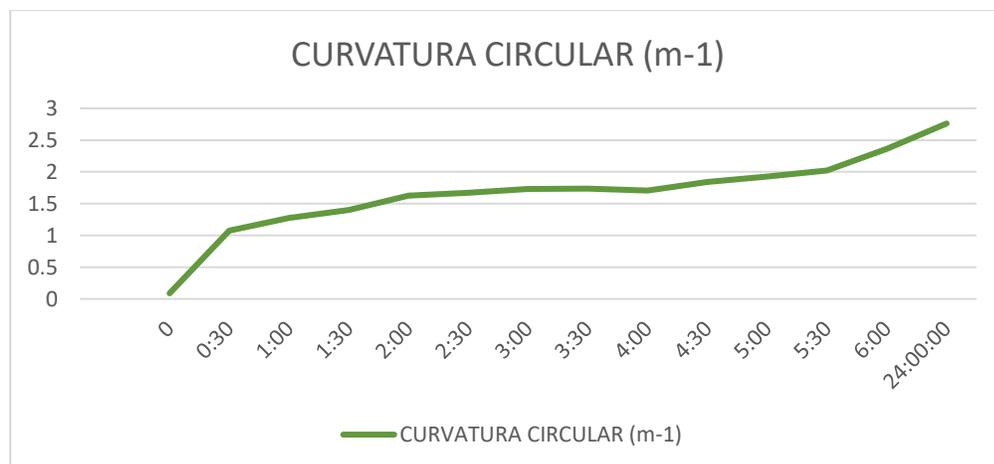


Figura 125 : Curvatura Circular (HA+Long+Lino2+Peg2)



- **HA+TRANS+LINO1+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 91.04815 m-1 registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.55	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	11.3001148 %
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 126 : HA+Trans+Lino1+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

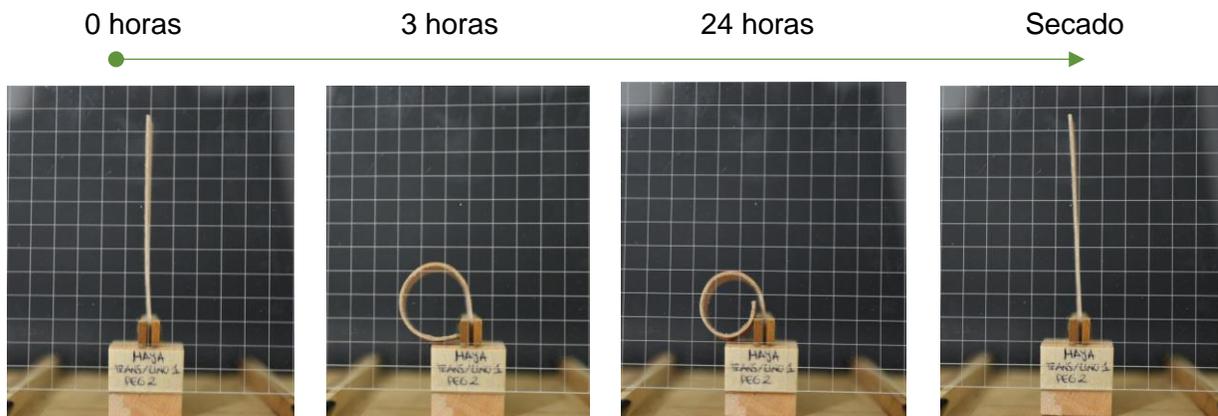
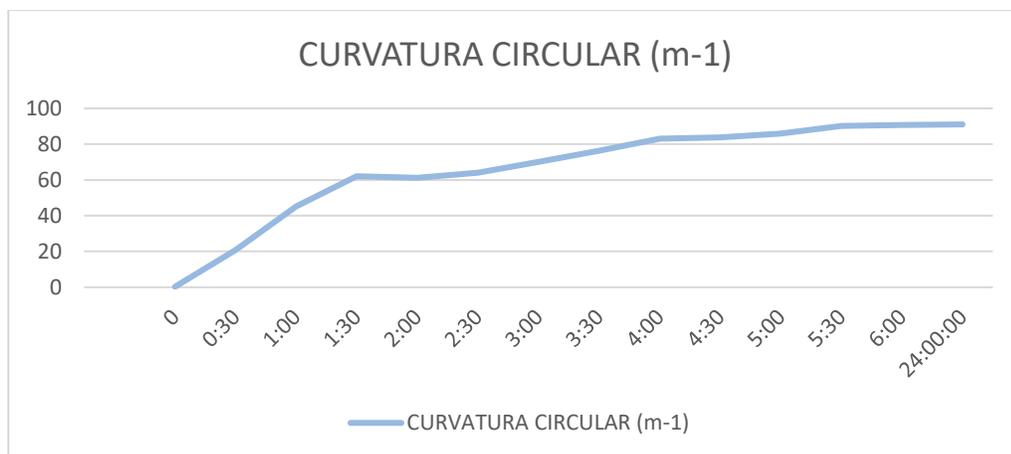


Figura 127 : Curvatura Circular (HA+Trans+Lino1+Peg2)



- **HA+TRANS+LINO2+PEG2:** Esta combinación de chapilla y lino blanco orgánico presenta una respuesta máxima de 115.66 m⁻¹ registrada a las 24:00 horas, sin delaminación, deformación homogénea y deformación leve del estado inicial.

ESPECIE 1	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0.55	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	11.3001148 %
TIPO DE LINO	BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0.10	COEFICIENTE HIGROEXPANSION (α)	15.2146439%

Figura 128 : HA+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Figura 129 : Curvatura Circular (HA+Trans+Lino2+Peg2)

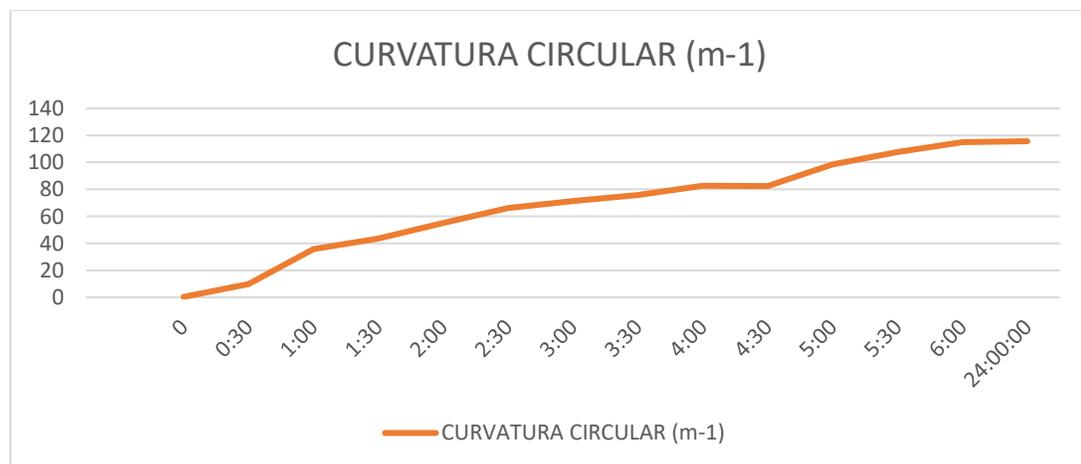
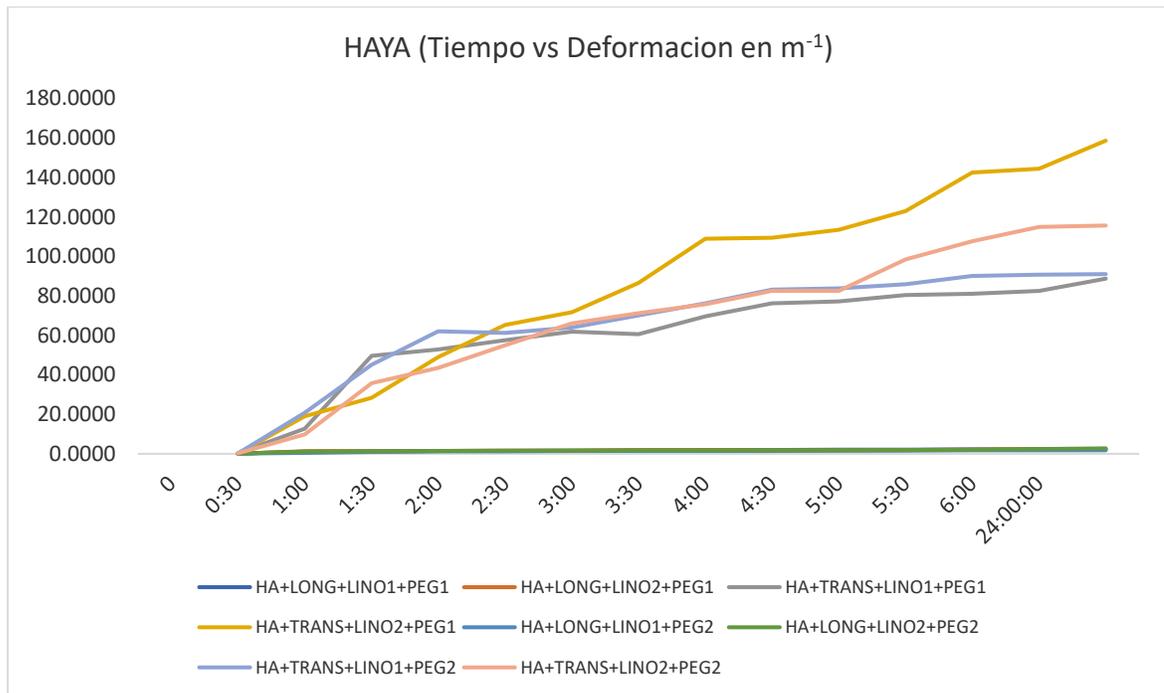


Figura 130 : Grafica de tiempo vs deformación HAYA

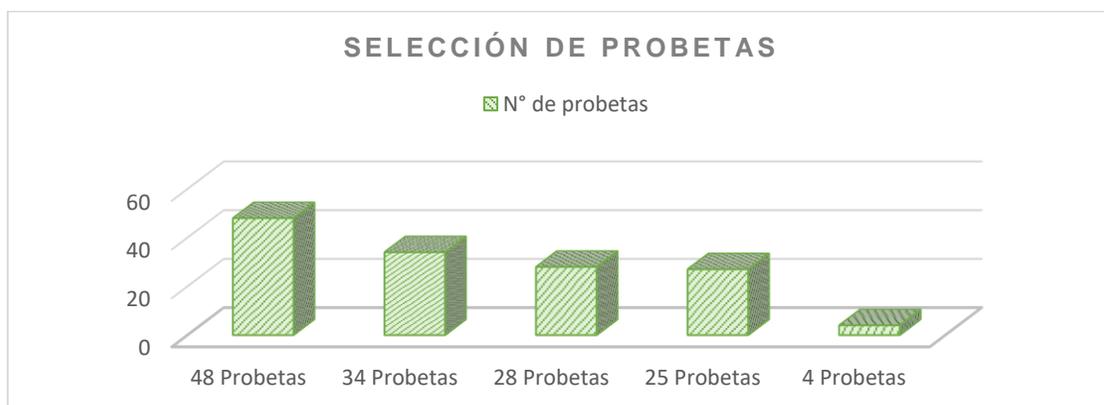
Como se observa en la gráfica de tiempo vs deformación de las probetas de Haya, en el registro entre los 30 minutos y 60 minutos se presenta la absorción inicial, donde el radio de deformación es más del 100% respecto al inicial. Se presenta una mayor deformación en el sentido transversal con el uso del pegante 1 – PL-285, y con el lino orgánico se presentan mayores deformaciones.

7.6 Análisis de Resultados primera fase

A partir de las mediciones obtenidas, se seleccionaron las probetas que obtuvieron una mayor respuesta ante los cambios de humedad relativa, sin delaminación, uniformidad de la deformación y que recuperaron su forma inicial dentro de un rango de 5mm (Deformación leve) después del ciclo de secado.

De las cuarenta y ocho (48) probetas iniciales (**Ver Anexo F**) se seleccionaron treinta y cuatro (34) probetas de las que se descartaron las que no recuperaron su forma inicial, posteriormente se identificaron las probetas que presentaron delaminación durante el ciclo de veinte cuatro (24) horas de humedad y de veinte cuatro (24) horas de secado, obteniendo veinte y ocho (28) probetas, de las cuales veinte y cinco (25) presentaron una curvatura uniforme (**Ver Anexo G**), y de ellas se seleccionaron cuatro (4) probetas con mayor respuesta tanto en el sentido Longitudinal como Transversal, que aunque en sentido longitudinal son menores los coeficientes de higroexpansión, es significativa la curvatura circular (m-1) obtenida. Tal como se presenta a continuación (**Ver Figura 131**):

Figura 131 Selección de probetas



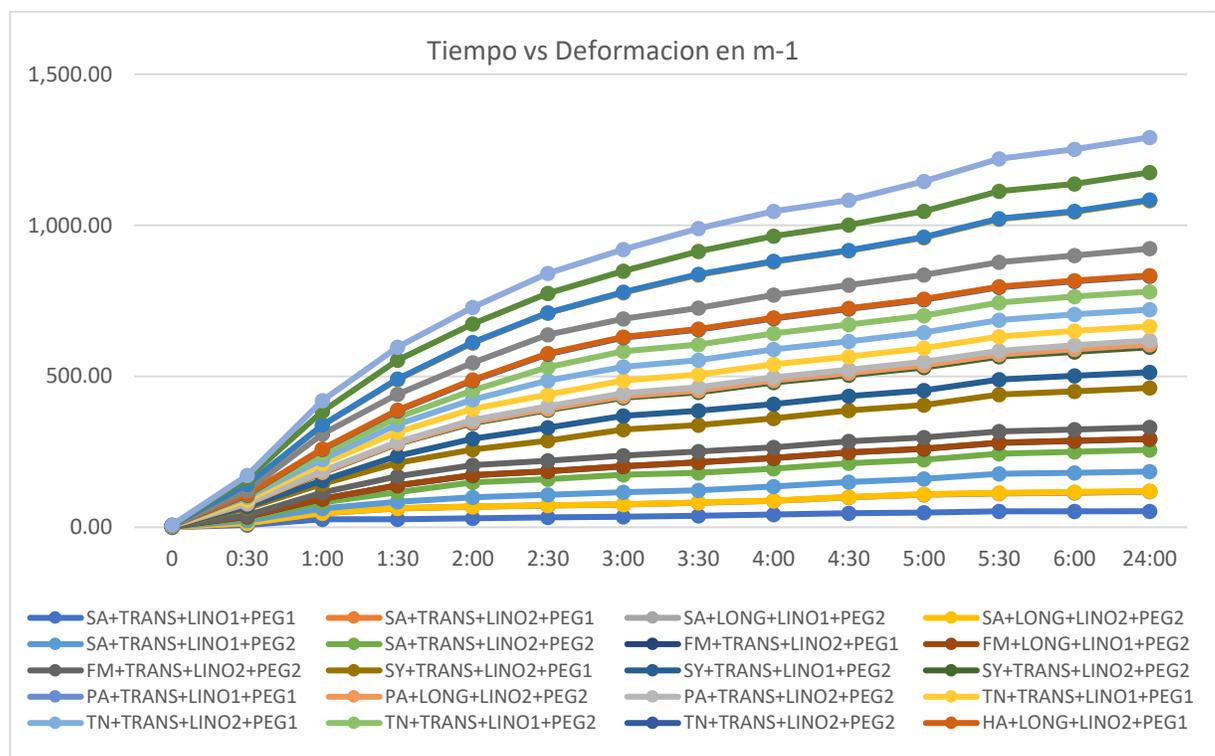
Fuente: Autor

En el estudio se evidencio que al someter las cuarenta y ocho (48) probetas a las condiciones máximas de humedad relativa de la ciudad de Bogotá al 90%, hubo una respuesta significativa tanto en sentido longitudinal como transversal de las fibras de la

chapilla de madera, de las cuales las mayores respuestas fueron de las probetas de las especies de Haya con las combinaciones HA+LONG+LINO2+PEG1 y HA+TRANS+LINO2+PEG1. Y de las probetas de Sapelli, las mayores respuestas fueron de SA+LONG+LINO2+PEG2, y SA+TRANS+LINO2+PEG2. En cuanto a las fibras de lino se evidenció una mayor respuesta de la fibra Lino 2, que es la fibra orgánica mixta. Las muestras seleccionadas exhiben una curvatura uniforme durante la respuesta, ya que gran parte del área de la capa activa está expuesta a condiciones similares de humedad relativa.

Se resalta que las probetas de Haya y Sapelli son las que presentan un menor espesor total del compuesto del material bicapa, haciéndolos más sensibles con una máxima respuesta. En el tiempo de respuesta de las probetas, se evidencia que más de un 80 % del cambio de curvatura inicial se da dentro de los treinta (30) minutos iniciales y en algunos casos hasta las tres (3) horas como fue la especie Teca Natural, que a su vez presentó deformación no uniforme en dos de sus casos. El tipo de madera con menor respuesta fue palisandro al presentar menor reacción en (2) de sus casos PA+TRANS+LINO1+PEG1 y PA+TRANS+LINO2+PEG1.

Figura 132 Preselección de probetas (25 muestras)



Fuente: Autor

Tabla 9 Valores de curvatura circular (K) en m^{-1} de las 25 probetas durante el ensayo, ordenados por tipo de madera (K vs tiempo)

MEDICION (h)		0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00
SA	SA+TRANS+LINO1+PEG1	0.36	7.25	26.08	26.65	30.08	32.76	35.30	38.50	42.39	46.85	49.09	52.67	53.01	53.21
	SA+TRANS+LINO2+PEG1	0.31	6.01	20.24	36.00	37.96	39.31	40.12	42.59	45.02	51.91	58.93	59.22	61.37	64.65
	SA+LONG+LINO1+PEG2	0.40	0.43	0.45	0.47	0.48	0.48	0.52	0.54	0.59	0.65	0.73	0.88	0.95	0.98
	SA+LONG+LINO2+PEG2	0.27	0.35	0.53	0.56	0.58	0.60	0.62	0.68	0.70	1.19	1.36	1.47	1.48	1.51
	SA+TRANS+LINO1+PEG2	0.41	8.00	14.63	21.04	29.99	34.57	39.06	40.13	46.75	49.44	50.58	62.55	63.03	63.95
FM	SA+TRANS+LINO2+PEG2	0.31	7.33	20.24	30.98	49.27	52.04	58.12	58.35	58.78	61.86	63.34	67.17	70.45	71.90
	FM+TRANS+LINO2+PEG1	0.42	6.01	11.71	23.00	23.73	25.68	27.81	34.04	34.71	35.57	35.63	35.73	35.82	35.90
	FM+LONG+LINO1+PEG2	0.25	0.37	0.38	0.40	0.44	0.45	0.46	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48
SY	FM+TRANS+LINO2+PEG2	0.34	4.23	20.24	29.26	33.12	34.23	35.04	35.54	35.70	36.60	36.73	37.19	37.46	38.01
	SY+TRANS+LINO2+PEG1	0.47	23.54	29.23	44.69	51.77	66.94	86.55	87.90	95.84	101.90	107.89	121.70	126.18	130.85
	SY+TRANS+LINO1+PEG2	0.41	4.73	10.83	23.51	35.54	43.26	45.58	46.69	47.33	47.56	48.81	49.78	51.88	51.98
PA	SY+TRANS+LINO2+PEG2	0.40	8.58	26.04	39.72	52.09	58.08	59.94	61.89	71.36	69.81	75.59	75.83	78.77	82.55
	PA+TRANS+LINO1+PEG1	0.33	1.02	1.61	1.93	3.15	3.63	4.24	5.40	6.57	6.67	7.17	7.56	8.69	8.85
	PA+LONG+LINO2+PEG2	0.11	0.28	0.32	0.34	0.40	0.42	0.43	0.41	0.43	0.45	0.48	0.50	0.51	0.52
TN	PA+TRANS+LINO2+PEG2	0.34	3.17	4.01	4.27	6.66	7.74	9.52	10.19	10.20	10.83	11.48	11.51	12.39	12.75
	TN+TRANS+LINO1+PEG1	0.71	9.24	24.31	32.33	36.54	39.78	42.31	42.83	43.25	43.58	44.57	46.89	47.36	47.11
	TN+TRANS+LINO2+PEG1	0.07	9.76	13.85	25.40	30.94	45.58	45.73	46.78	48.94	50.47	51.98	54.89	54.87	55.32
	TN+TRANS+LINO1+PEG2	0.07	3.59	19.11	22.97	30.16	45.05	51.60	52.31	52.66	55.17	56.09	58.18	59.19	59.72
HA	TN+TRANS+LINO2+PEG2	0.08	3.17	14.41	22.64	33.12	43.07	44.93	49.66	49.97	51.75	52.33	50.28	50.77	51.10
	HA+LONG+LINO2+PEG1	0.07	1.23	1.31	1.38	1.63	1.68	1.87	1.94	1.70	1.84	1.93	2.02	2.36	2.42
	HA+TRANS+LINO1+PEG1	0.33	12.78	49.66	52.83	57.58	61.97	60.58	69.70	76.23	77.25	80.39	81.12	82.54	88.75
	HA+TRANS+LINO2+PEG1	0.14	19.05	28.40	49.08	65.29	71.75	86.55	108.97	109.48	113.46	123.02	142.51	144.40	158.67
	HA+LONG+LINO2+PEG2	0.09	1.07	1.27	1.40	1.63	1.67	1.73	1.74	1.70	1.84	1.93	2.02	2.36	2.76
	HA+TRANS+LINO1+PEG2	0.23	20.73	45.17	62.00	61.25	63.95	70.13	76.24	83.13	83.86	85.99	90.20	90.70	91.05
	HA+TRANS+LINO2+PEG2	0.29	9.76	35.83	43.53	54.96	66.15	71.32	75.77	82.55	82.47	98.43	107.68	115.01	115.66

Fuente: Autor

En todas las probetas la capa activa es la madera, y la capa pasiva es el lino, en las generalidades del estudio se evidencio que el tiempo de respuesta y la curvatura circular (m^{-1}) de los higromorfos depende directamente de la especie de madera y de lino, en donde se registró que 22 probetas alcanzaron más de $10m^{-1}$ de deformación, es decir 45,8%, de los cuales todas las fibras de chapilla estaban en posición transversal.

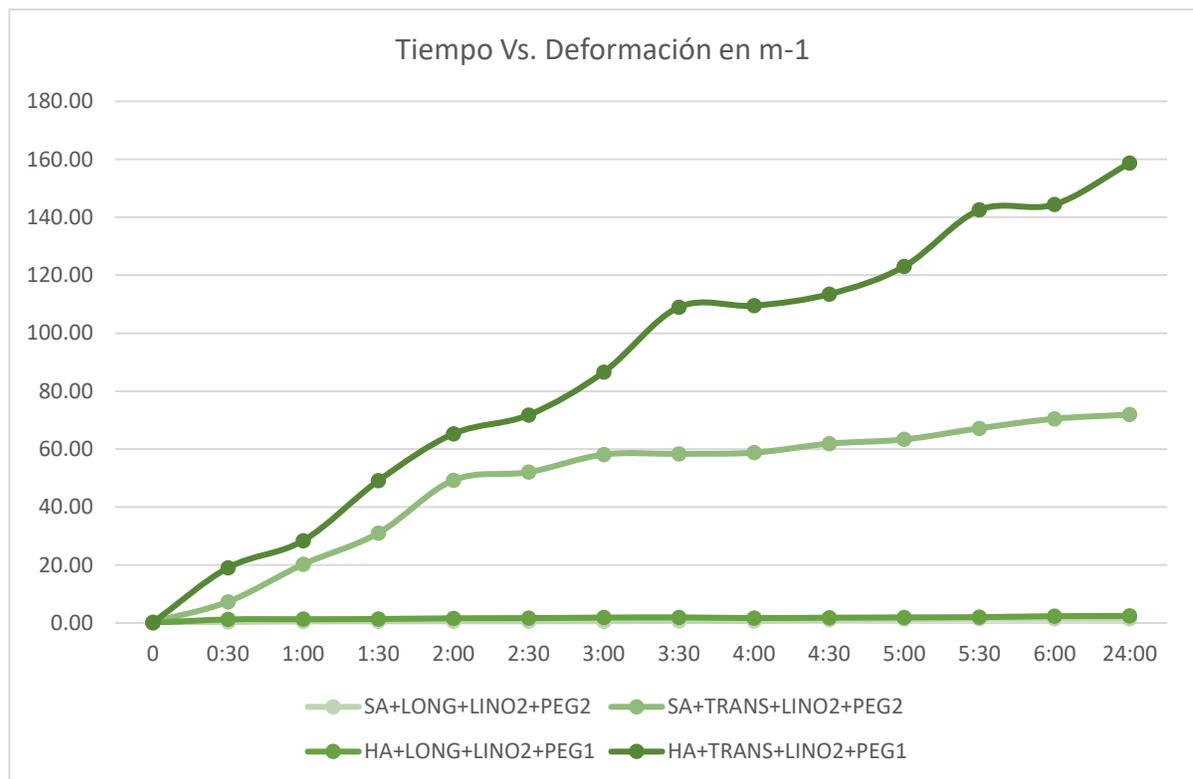
Las (4) cuatro probetas seleccionadas en la última fase, se tuvieron en cuenta según las siguientes variables: mayor curvatura total, recuperación de su forma inicial después del ciclo de secado y sin presencia de delaminación.

7.7 Resultados segunda fase

Las probetas seleccionadas fueron de la especie Haya HA+LONG+LINO2+PEG1 y HA+TRANS+LINO2+PEG1. Y de las probetas de Sapelli, las mayores respuestas fueron de SA+LONG+LINO2+PEG2, y SA+TRANS+LINO2+PEG2, las cuales presentan las siguientes deformaciones:

Figura 133 : Probetas seleccionadas

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		MAESTRIA EN CONSTRUCCIÓN LABORATORIO DE GUADUA Y MADERA REGISTRO ENSAYO PREEXPERIMENTO COMBINACIONES A HUMEDAD CONSTANTE		CODIGO VERSION 1.0 PAGINA 1 DE 1													
PROYECTO	DE LA BIOMIMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.																
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRIGUEZ																
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA																
ASESOR	ARQ. DAVID SEBASTIAN PÉREZ CABRERA																
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA													
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00	DELAMINACION	UNIFORMIDAD	RECUPERACION
SA+LONG+LINO2+PEG2	0,27	0,35	0,53	0,56	0,58	0,60	0,62	0,68	0,70	1,19	1,36	1,47	1,48	1,51	NO	SI	DL
SA+TRANS+LINO2+PEG2	0,31	7,33	20,24	30,98	49,27	52,04	58,12	58,35	58,78	61,86	63,34	67,17	70,45	71,90	NO	SI	RC
HA+LONG+LINO2+PEG1	0,07	1,23	1,31	1,38	1,63	1,68	1,87	1,94	1,70	1,84	1,93	2,02	2,36	2,42	NO	SI	DL
HA+TRANS+LINO2+PEG1	0,14	19,05	28,40	49,08	65,29	71,75	86,55	108,97	109,48	113,46	123,02	142,51	144,40	158,67	NO	SI	RC



Fuente: Autor

Figura 134: Comportamiento probeta seleccionada SA+Long+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)

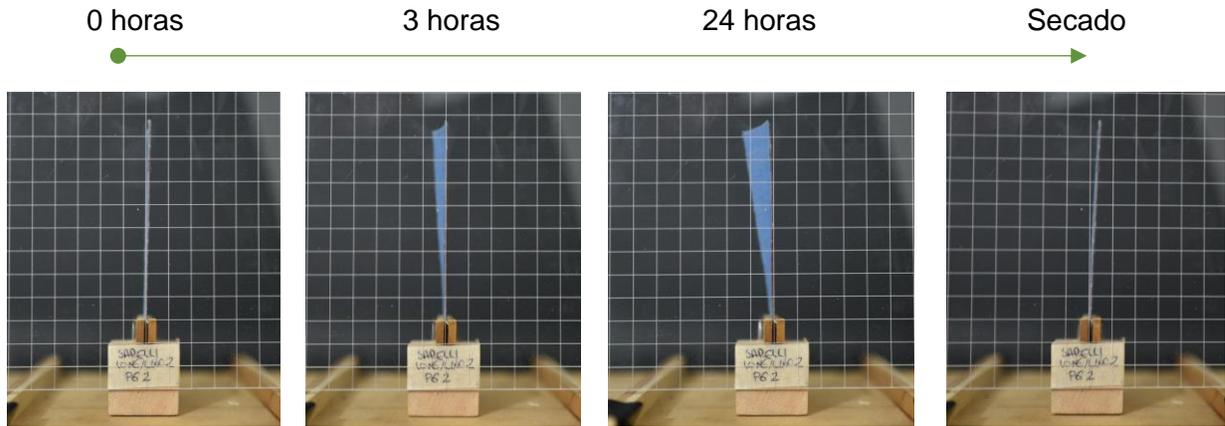
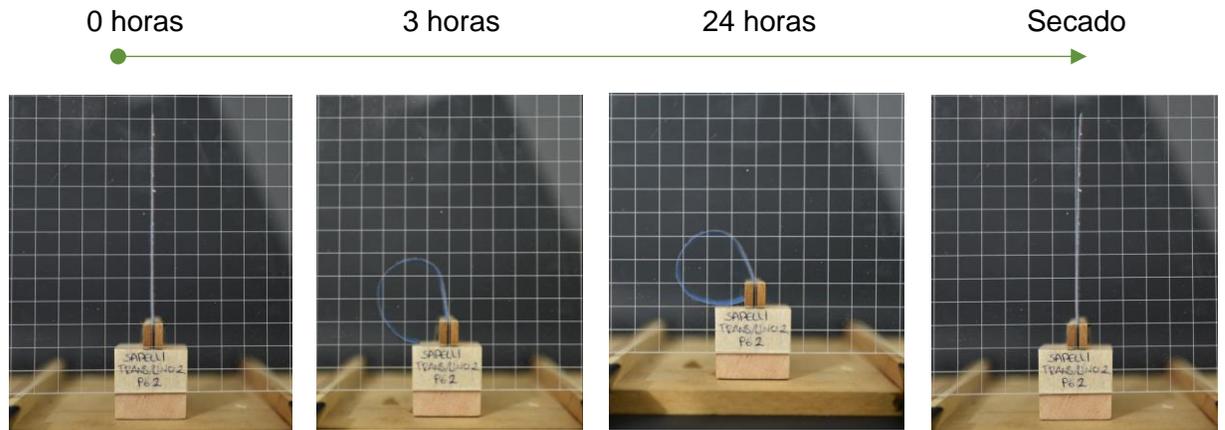
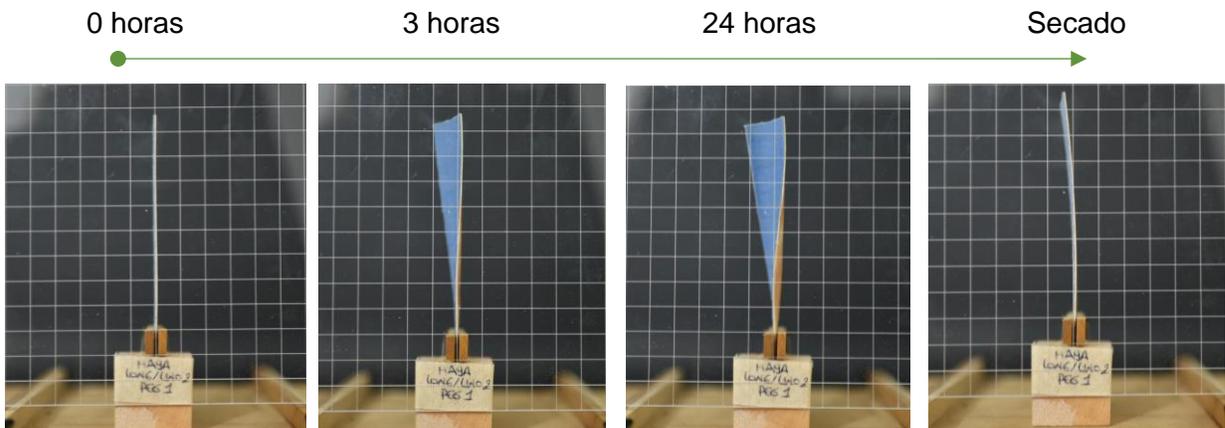


Figura 135 : Comportamiento probeta seleccionada SA+Trans+Lino2+Peg2 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



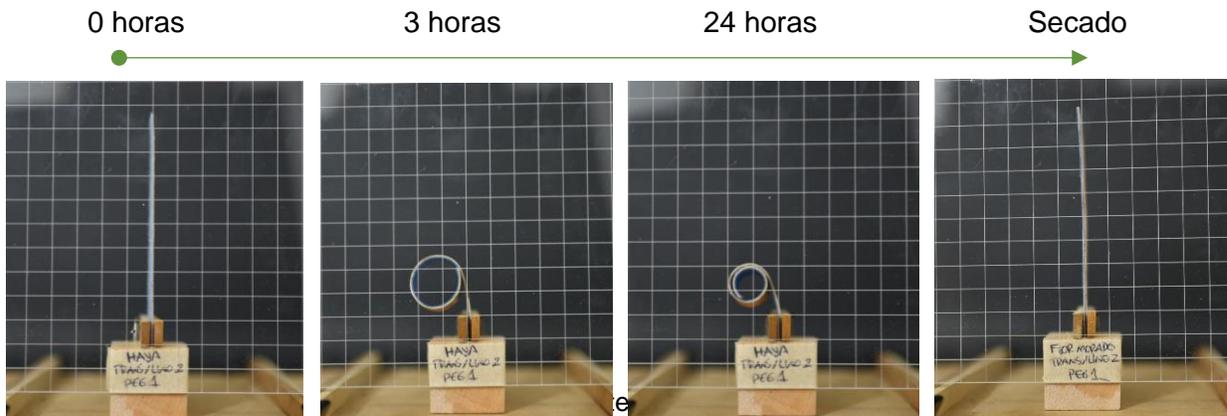
Fuente: Autor

Figura 136 : Comportamiento probeta seleccionada HA+Long+Lino2+Peg1 (Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



Fuente: Autor

Figura 137 : Comportamiento probeta seleccionada HA+Trans+Lino2+Peg1
(Fotografías a 0h, 3h, 24h y Secado)



7.7.1 Análisis resultados segunda fase

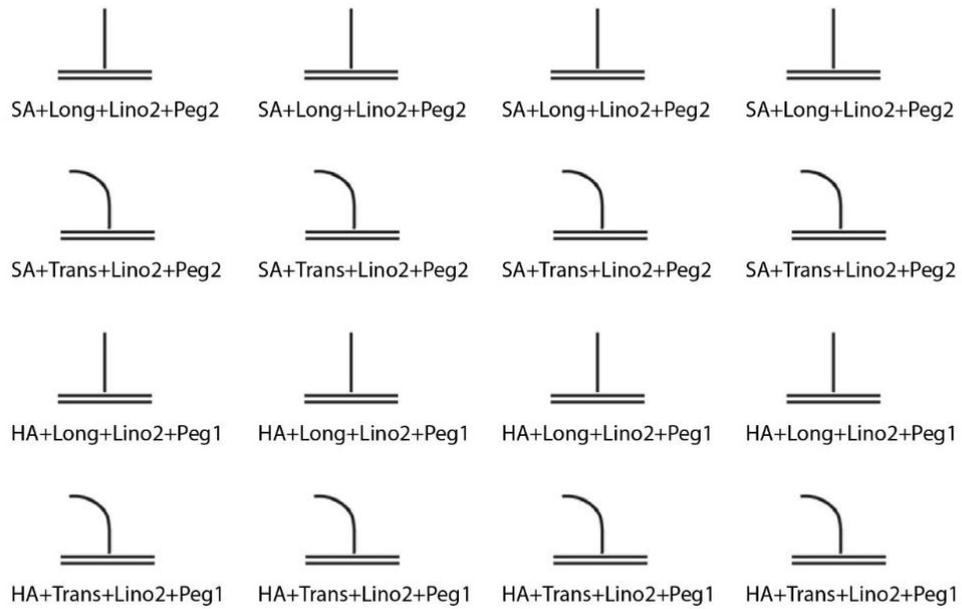
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en ciclos de humedad y secado cada 24 horas de las combinaciones de probetas seleccionadas por su mejor desempeño, tanto en el sentido longitudinal, como transversal para obtener un comparativo entre las mismas como se observa en la **Figura 138**:

Combinaciones PROBETAS SAPELLI: SA+Long+Lino2+Peg2/ SA+Trans+Lino2+Peg2

Combinaciones PROBETAS HAYA: HA+Long+Lino2+Peg1, HA+Trans+Lino2+Peg1

Para la selección de estas cuatro (4) combinaciones se tuvieron en cuenta los criterios de no presentar delaminación, tener una deformación uniforme, y recuperar su estado inicial al estar expuestas a ciclos de humedad del 90%, en donde en las primeras horas la probeta SA+Long+Lino2+Peg2 presenta una deformación 1.48 m-1 de su deformación máxima (1.51 m-1), la probeta SA+Trans+Lino2+Peg2 presenta una deformación 70.45 m-1 de su deformación máxima (71.91 m-1), la probeta HA+Long+Lino2+Peg1 presenta una deformación 2.36 m-1 de su deformación máxima (2.42 m-1), y la probeta HA+Trans+Lino2+Peg1 presenta una deformación 144.40 m-1 de su deformación máxima (158.67 m-1).

Figura 138 Combinaciones de probetas por especie de madera



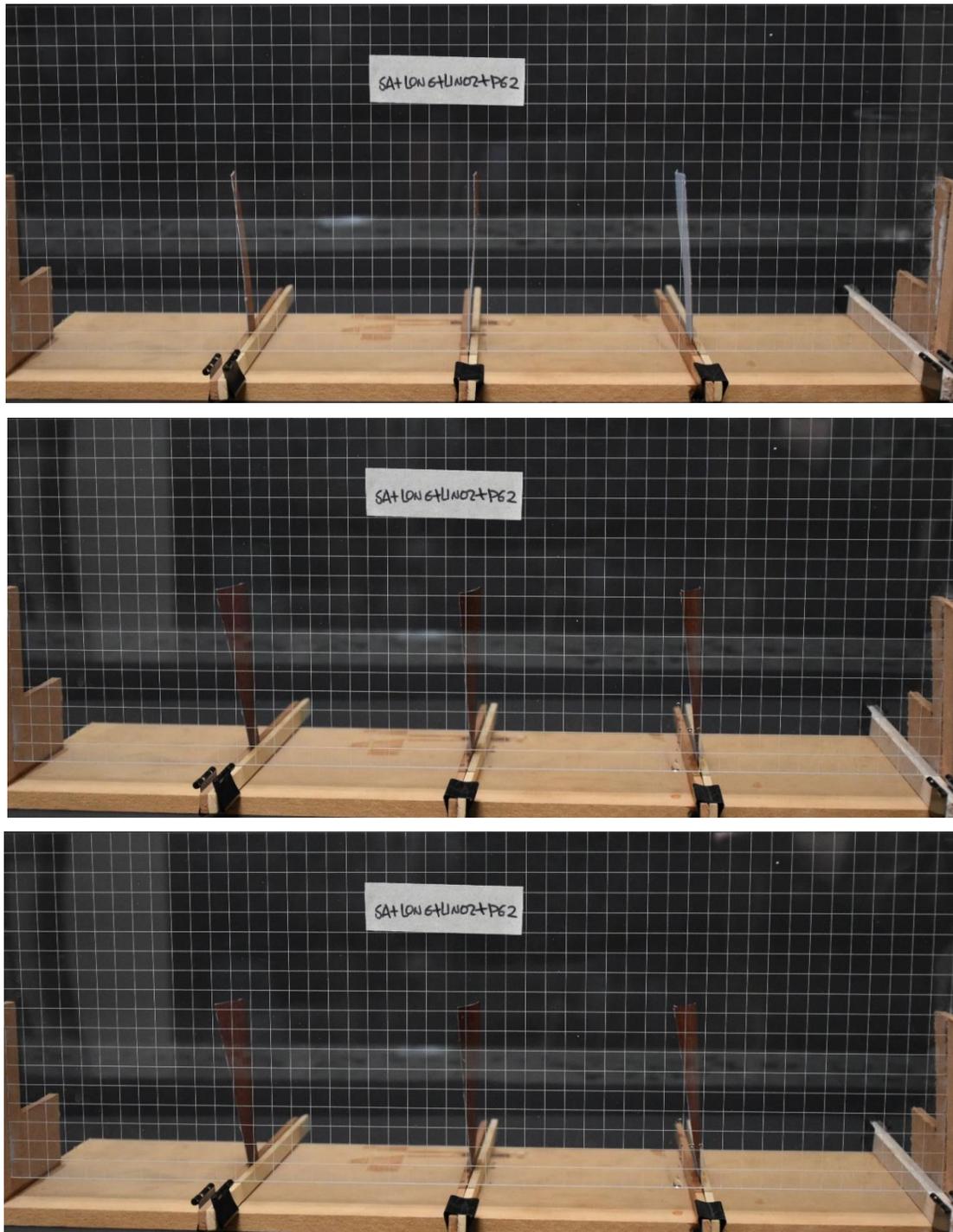
Fuente: Autor

SA+Long+Lino2+Peg2

Probeta combinación SAPELLI + LONGITUDINAL + LINO 2 (Orgánico) + PEGANTE 2

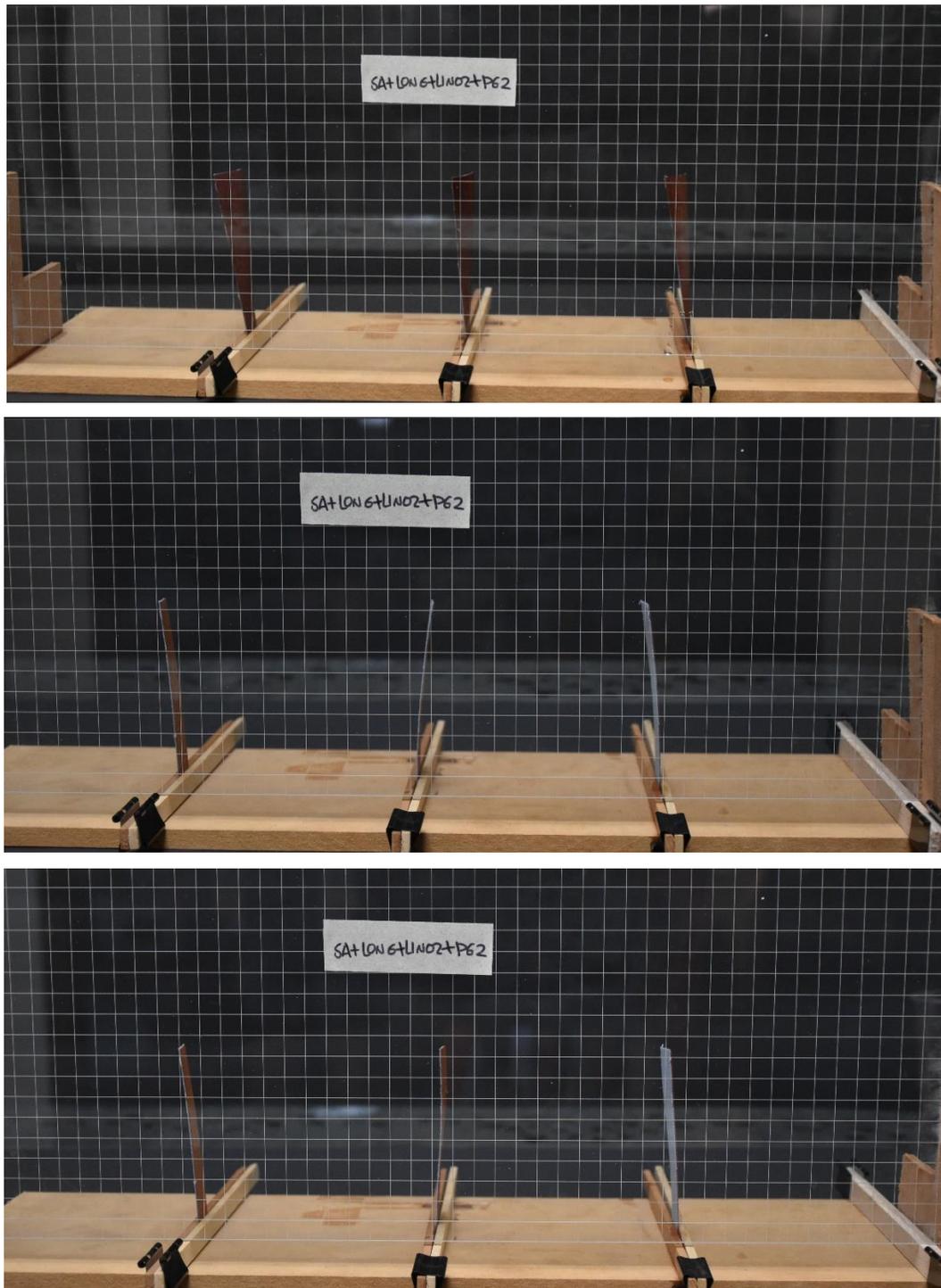
Figura 139 Fotografías del ciclo de humedad alta SA+Long+Lino2+Peg2

(a 0h, 12h y 36h)



Fuente: Autor

Figura 140 Fotografías del ciclo de humedad baja SA+Long+Lino2+Peg2
(a 0h, 12h y 36h)

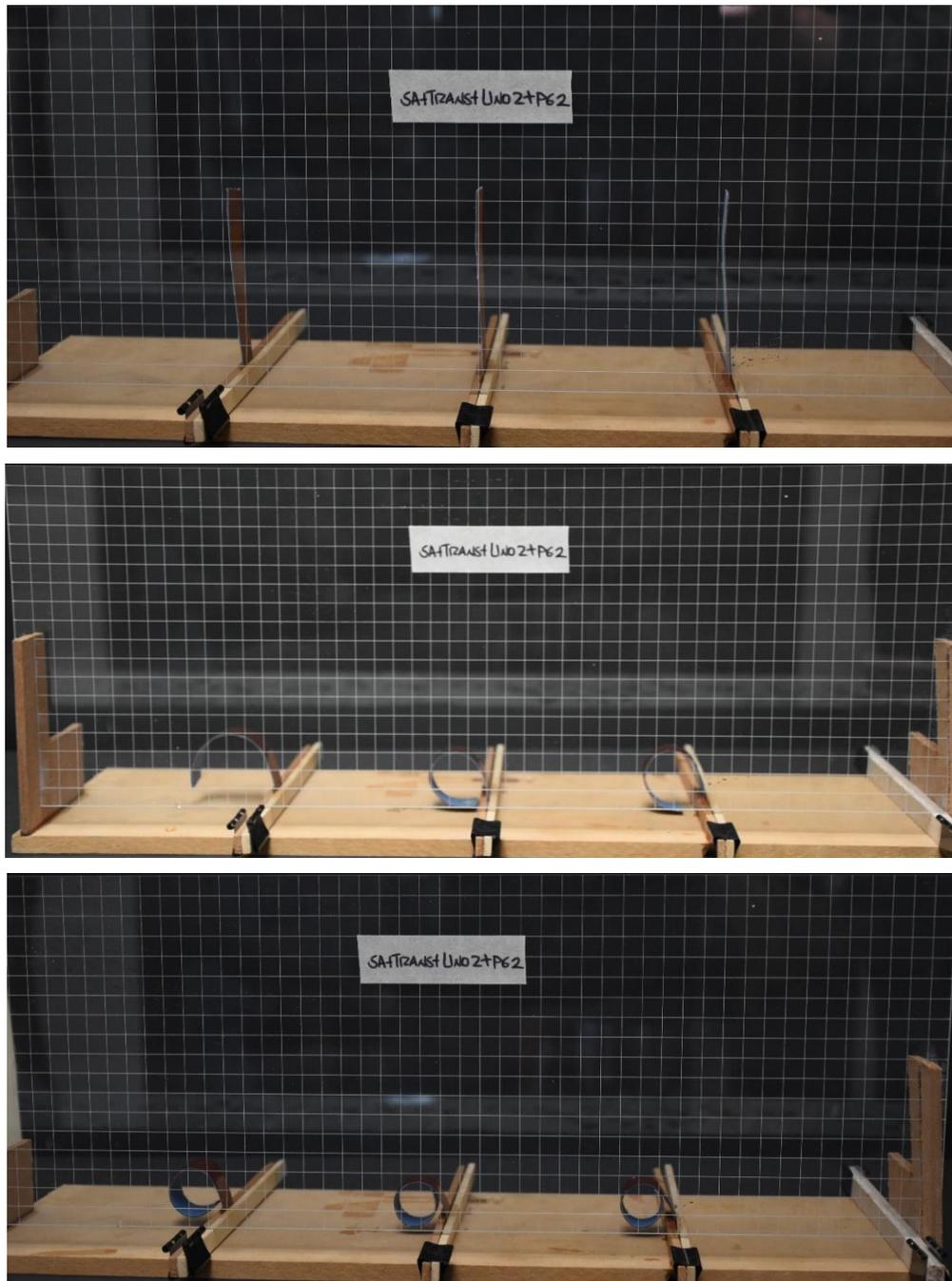


Fuente: Autor

SA+Trans+Lino2+Peg2

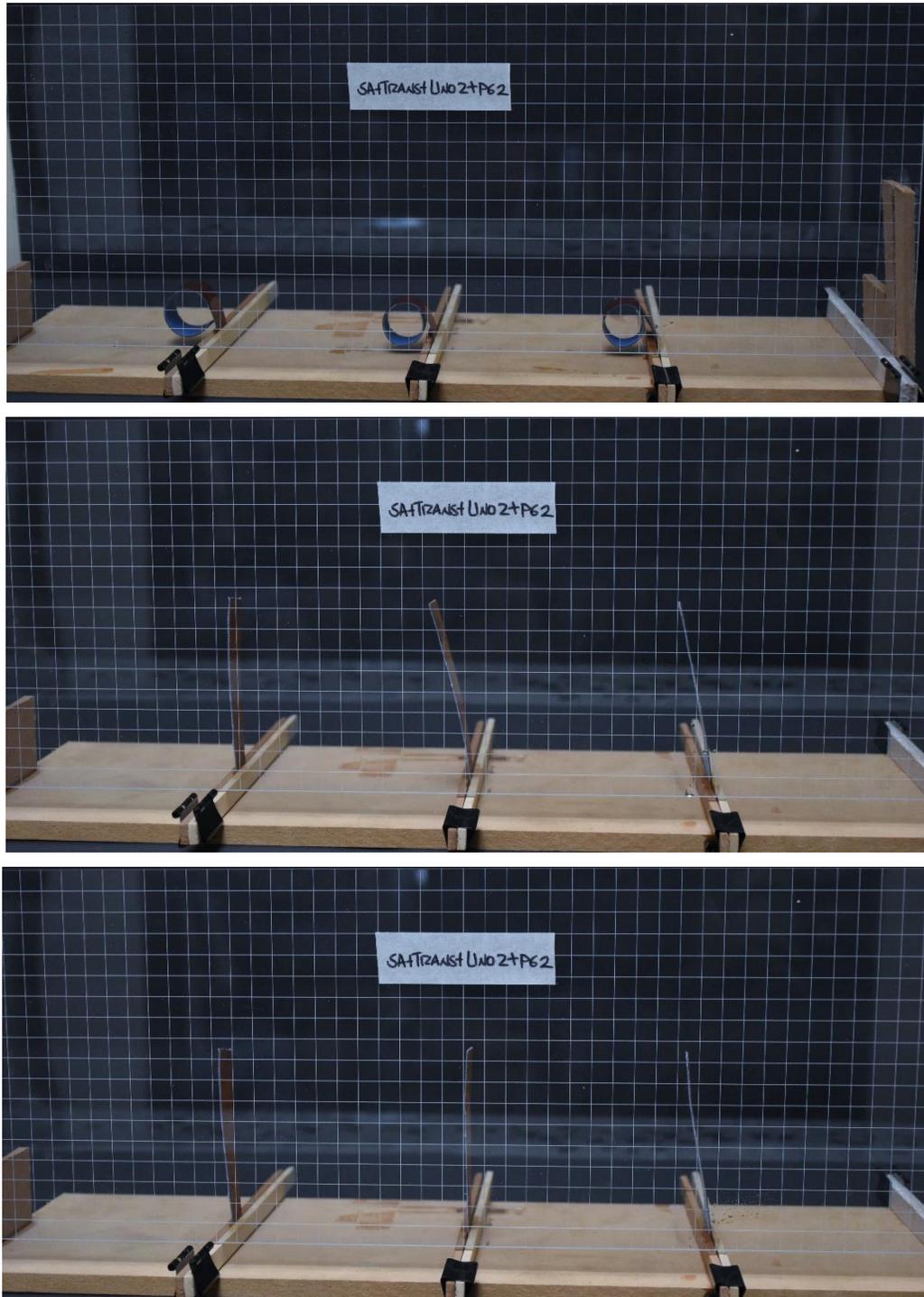
Probeta combinación SAPELLI + TRANSVERSAL + LINO 2 (Orgánico) + PEGANTE 2

Figura 141 Fotografías del ciclo de humedad alta SA+Trans+Lino2+Peg2
(a 0h, 12h y 36h)



Fuente: Autor

Figura 142 Fotografías del ciclo de humedad baja SA+Trans+Lino2+Peg2
(a 0h, 12h y 36h)



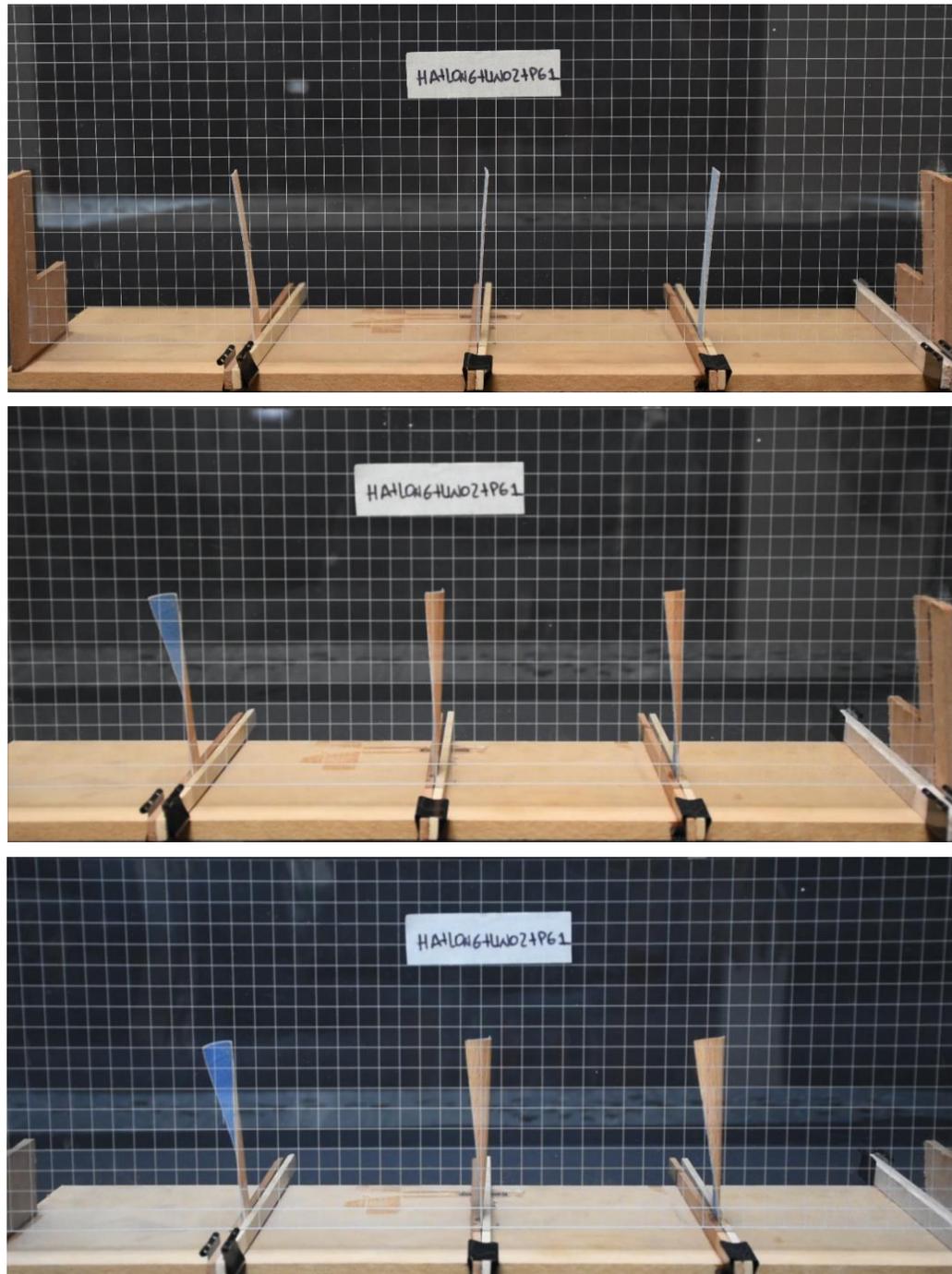
Fuente: Autor

HA+Long+Lino2+Peg1

Probeta combinación HAYA + LONGITUDINAL + LINO 2 (Orgánico) + PEGANTE 1

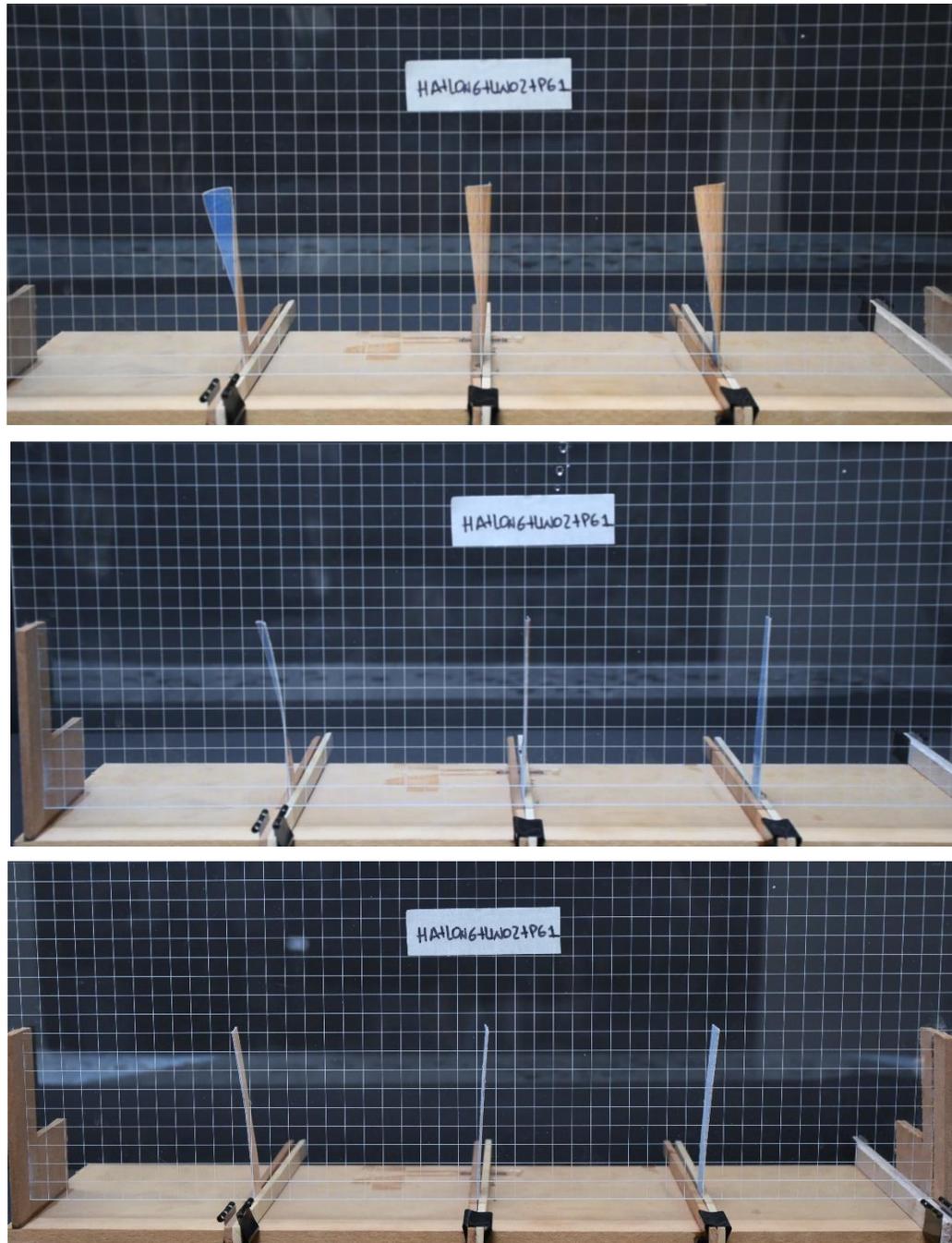
Figura 143 Fotografías del ciclo de humedad alta HA+Long+Lino2+Peg1

(a 0h, 12h y 36h)



Fuente: Autor

Figura 144 Fotografías del ciclo de humedad baja HA+Long+Lino2+Peg1
(a 0h, 12h y 36h)

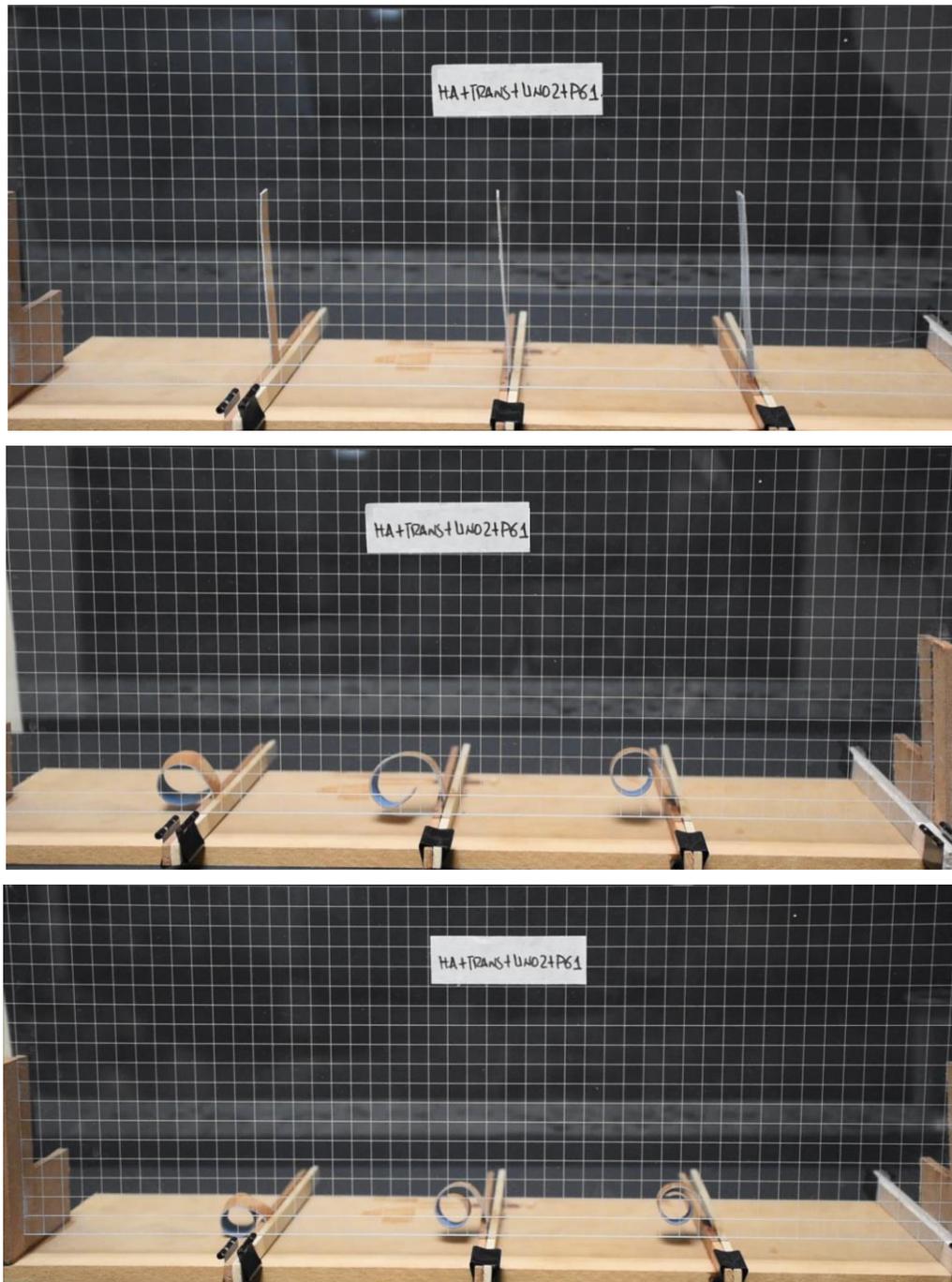


Fuente: Autor

HA+Trans+Lino2+Peg1

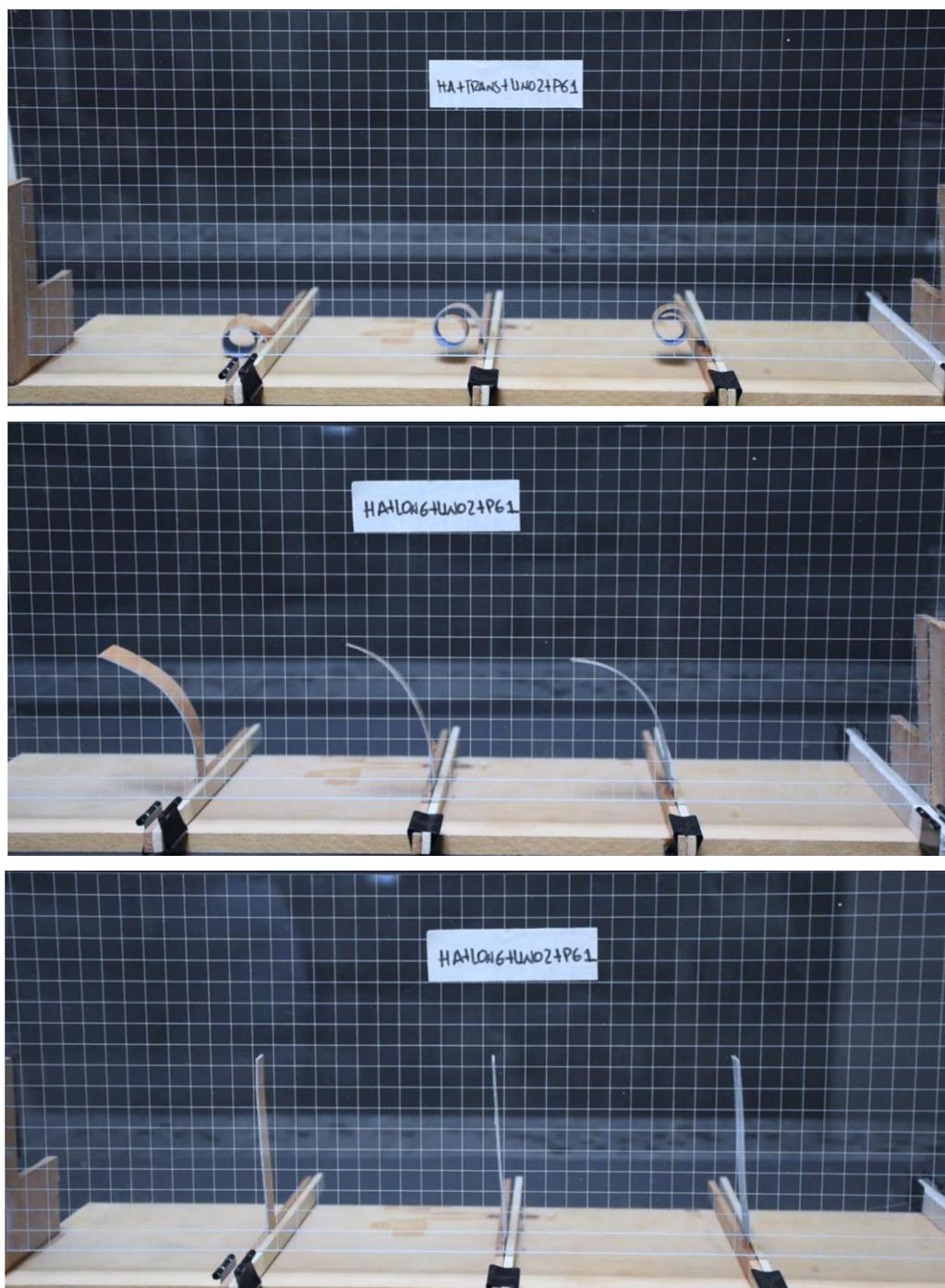
Probeta combinación HAYA + TRANSVERSAL + LINO 2 (Orgánico) + PEGANTE 1

Figura 145 Fotografías del ciclo de humedad alta HA+Trans+Lino2+Peg1
(a 0h, 12h y 36h)



Fuente: Autor

Figura 146 Fotografías del ciclo de humedad baja HA+Trans+Lino2+Peg1
(a 0h, 12h y 36h)



Fuente: Autor

7.7.2 Selección probetas segunda fase

En la segunda fase se toman los cuatro (4) grupos de probetas seleccionadas, para caracterizar su respuesta en dos (2) ciclos de humedad alta y dos (2) ciclos de humedad baja como se observa en el (**Anexo H**). A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

RESULTADOS PROBETA HA+Long+Lino2+Peg1

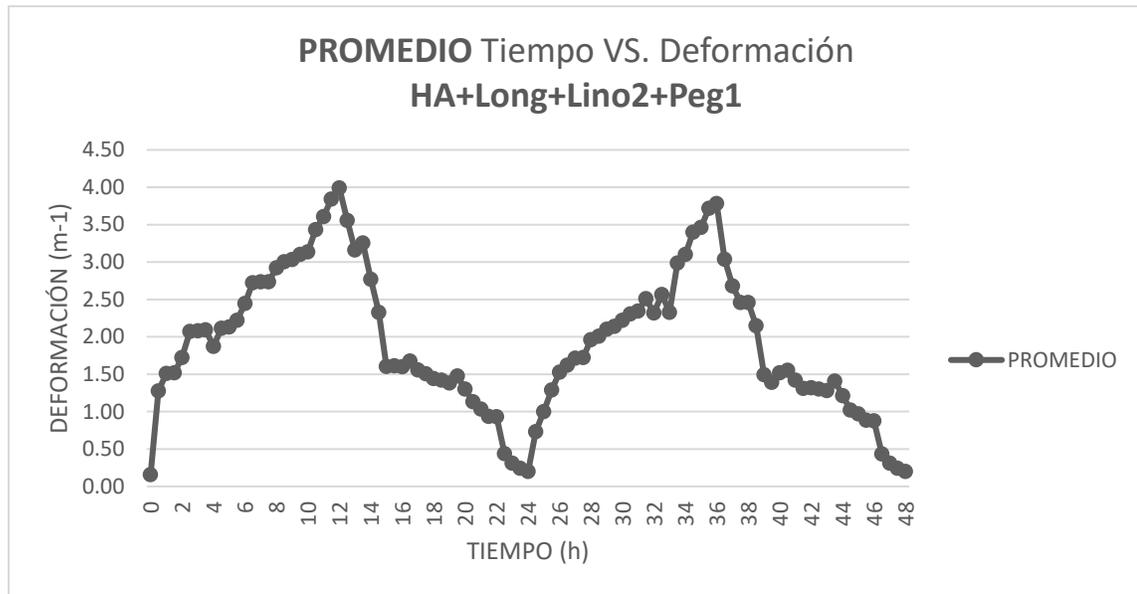
En la combinación de bicapa de madera haya en sentido longitudinal con una matriz de unión con PL285 con el lino orgánico, la mayor deformación fue presentada en la probeta tres (3), al registrar un valor de 4.39 m-1 en el segundo ciclo de humedad, a diferencia de la probeta uno (1) que es la de menor reacción con una deformación de 3.17 m-1. Es así como se obtiene un valor promedio de deformación de 3.79 m-1.

En los ciclos de humedad baja, se observó que las probetas tienen una recuperación de su forma inicial con una deformación leve dentro de los 5mm, en todas las probetas tanto en el primero (1), como segundo (2) ciclo humedad, la combinación con mejor recuperación del estado inicial fue la uno (1) con un valor de 0.14 m-1 en el primer ciclo, y de 0.14 m-1 en el segundo ciclo en comparación a un estado inicial de 0.13 m-1. Se evidencia que en el primer y segundo ciclo de secado la recuperación se da en la primera media hora.

Figura 147 Comportamiento de las probetas HA+Long+Lino2+Peg1, Tiempo Vs. Deformación



Figura 148 Promedio Comportamiento de las probetas HA+Long+Lino2+Peg1, Tiempo Vs. Deformación



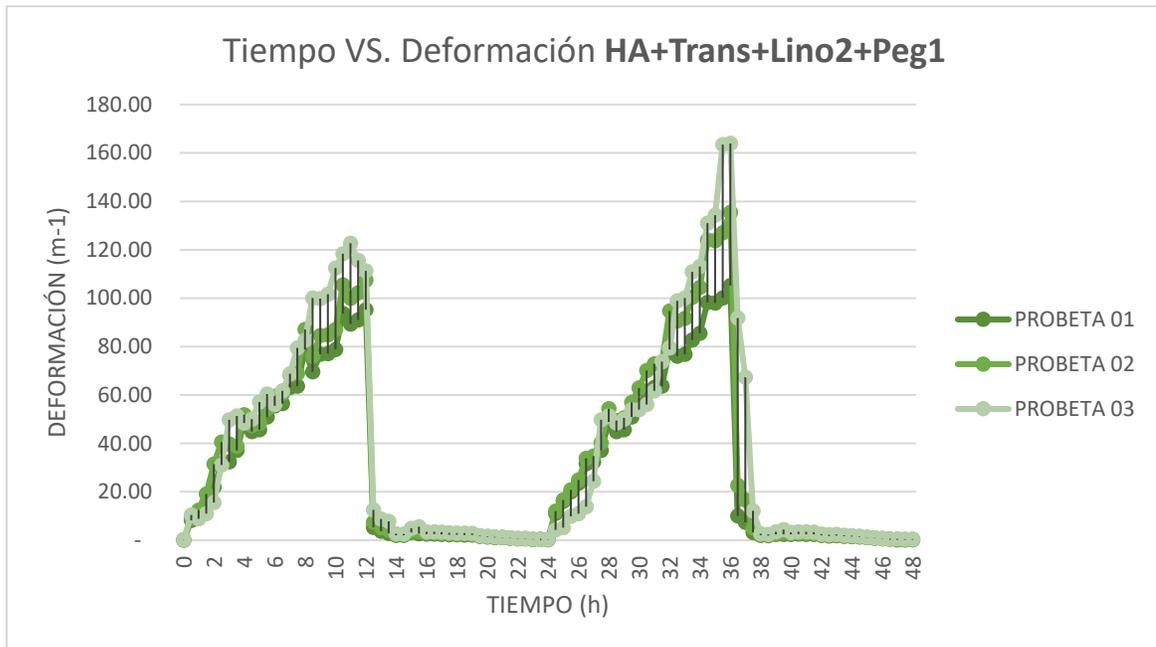
Fuente: Autor

RESULTADOS PROBETA HA+Trans+Lino2+Peg1

En la combinación de bicapa de madera haya en sentido transversal con una matriz de unión con PL285 con el lino orgánico, la mayor deformación fue presentada en la probeta tres (3), al presentar un valor de 163.93 m-1 en el segundo ciclo de humedad, a diferencia de la probeta uno (1) que es la de menor reacción con una deformación de 105.26 m-1. Es así como se obtiene un valor promedio de deformación de 134.90 m-1.

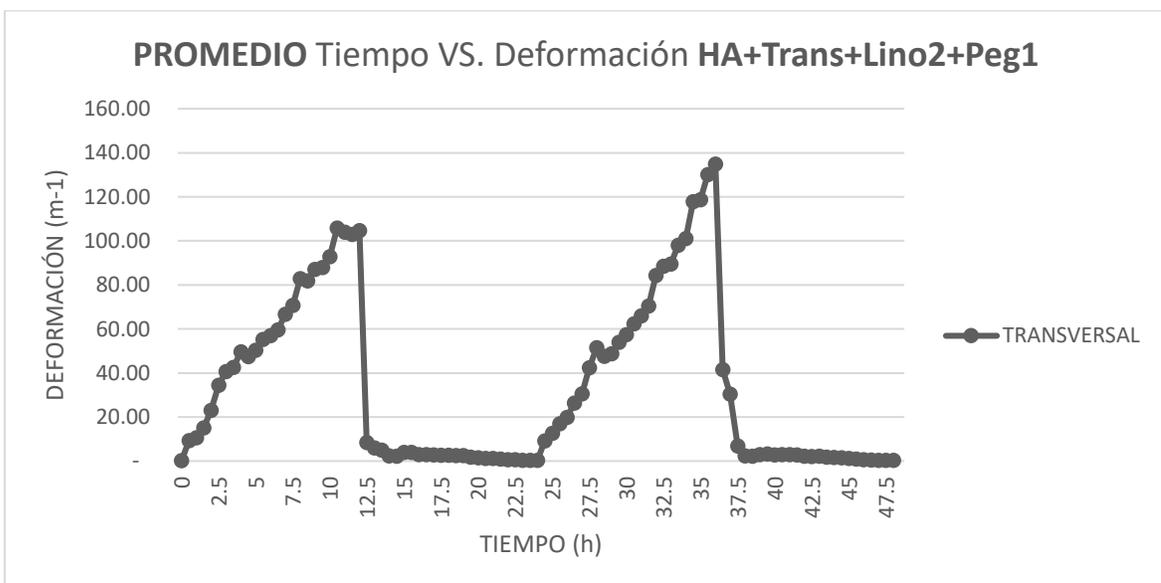
En los ciclos de humedad baja, se observó que las probetas tienen una recuperación de su forma inicial con una deformación leve dentro de los 5mm, en todas las probetas tanto en el primero (1), como segundo (2) ciclo humedad, la combinación con mejor recuperación del estado inicial fue la tercera (3) con un valor de 0.31 m-1 en el primer ciclo, y de 0.33 m-1 en el segundo ciclo, en comparación a un estado inicial de 0.32 m-1. En la recolección de datos se evidencia que en el primer ciclo de secado la recuperación de la deformación se da en mayor proporción en la primera hora, y en el segundo ciclo de secado en la primera hora y media.

Figura 149 Comportamiento de las probetas HA+Trans+Lino2+Peg1, Tiempo Vs. Deformación



Fuente: Autor

Figura 150 Promedio Comportamiento de las probetas HA+Trans+Lino2+Peg1, Tiempo Vs. Deformación

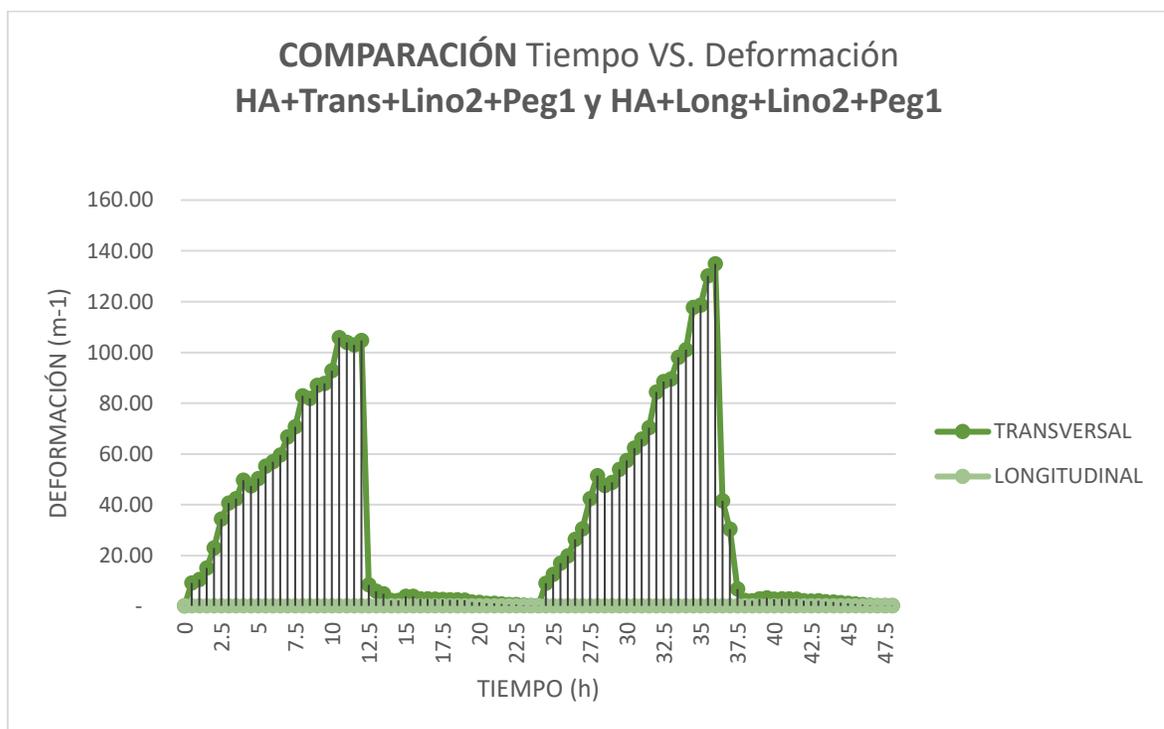


Fuente: Autor

Al comparar la respuesta promedio (**Ver Figura 148**) de la misma combinación de probeta de madera y fibra de lino, con diferente sentido de fibra, se observa que el sentido transversal posee una mayor deformación, lo que a su vez hace que tarde mayor tiempo en recuperar su estado inicial respecto al sentido longitudinal. Así mismo se evidencio que, aunque se evalúan bajo los mismos índices de humedad relativa de la cámara, no siempre se presentaba el mismo aumento de deformación respecto al valor anterior, ya que la fibra transversal solo en la primera media hora presento más del 80% respecto al estado inicial, aunque en los ciclos de secado al ser menor la deformación en el sentido longitudinal volvía a su forma inicial en un 30% más rápido que en el sentido transversal.

De igual manera en ambas combinaciones de probetas, en el segundo ciclo de humedad se presenta una mayor deformación, pero en ambos ciclos la recuperación del estado inicial se encuentra dentro del rango de deformación leve (5mm), lo que muestra que el material tras varios ciclos tiene la capacidad de volver a su curvatura inicial, sin presentar delaminación y con una deformación uniforme.

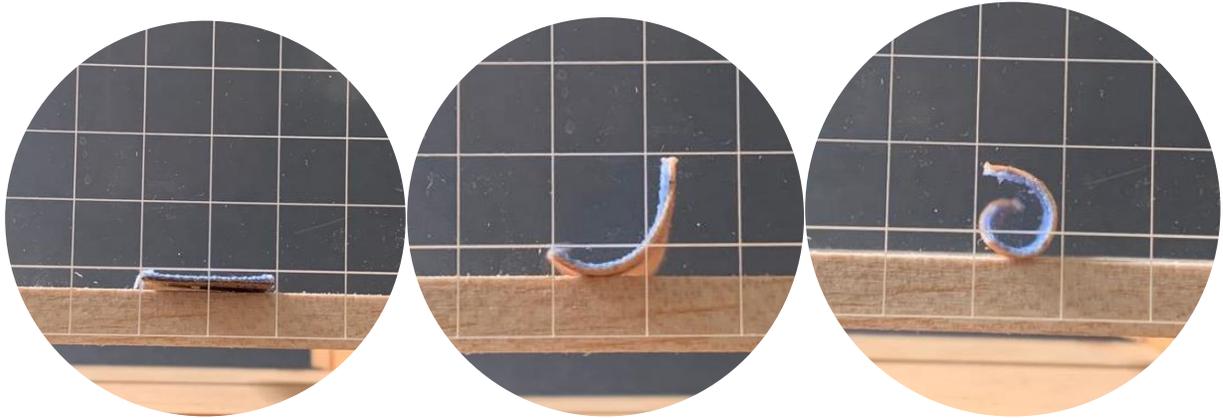
Figura 151 Comparación Tiempo Vs. Deformación de las probetas HA+Trans+Lino2+Peg1, y HA+Long+Lino2+Peg1



Fuente: Autor

En cuanto a la comparación entre el sentido longitudinal y transversal, para las mediciones, se sugiere que cuando la posición de la fibra se dispone de forma longitudinal se ponga la probeta paralela a la base del montaje para poder medir la torsión tal como se muestra a continuación:

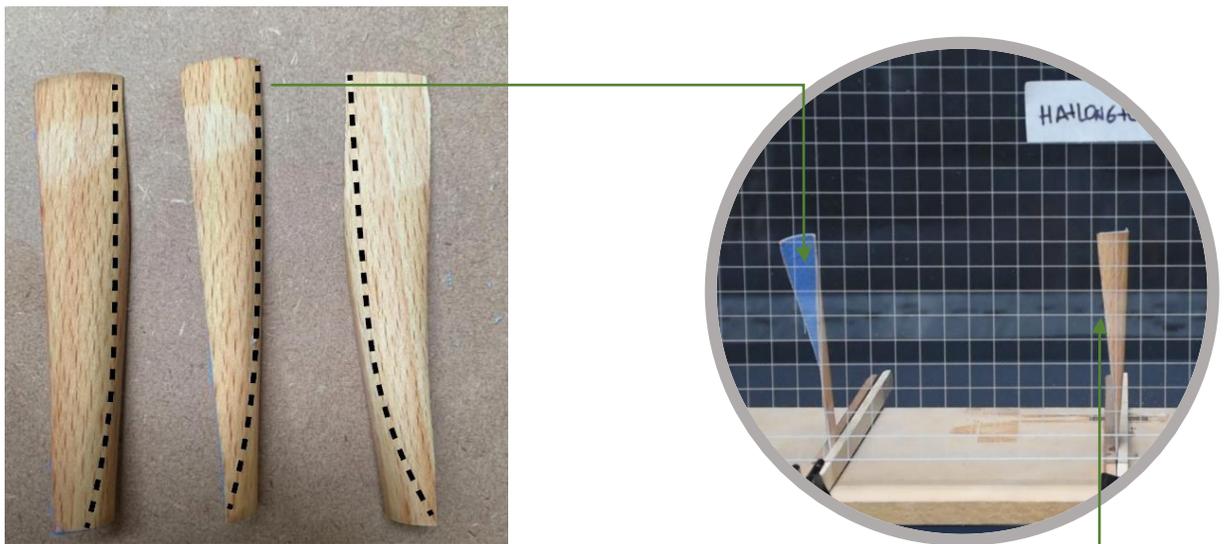
Figura 152 Propuesta medición probetas sentido longitudinal HA+Trans+Lino2+Peg1



Fuente: Autor

Por otra parte, es importante anotar que en el desarrollo de las probetas en el sentido longitudinal la dirección de la veta de la madera en la capa activa, tiene una predominancia que determina hacia qué lado se da el giro de la curvatura, esto influye a la hora de configurar la geometría de un módulo higromórfico y poder prever la forma resultante para obtener la mejor disposición según el requerimiento técnico como se ve en la **Figura 149**.

Figura 153 Sentido de giro en probetas longitudinales



Fuente: Autor

8. Comparación de resultados con estudios previos

A continuación, se realiza una comparación con los resultados obtenidos en la investigación realizada por (Pérez Cabrera, 2019), donde se utilizan las mismas especies de madera y dimensiones de probetas, una matriz de unión de adhesivo de contacto base solvente, y se realizan ciclos de humedad por veinticuatro (24) horas expuestas a una humedad al 90% en el equipo, donde se identificó las siguientes relaciones:

- Bajo condiciones similares de bicapas con sentido de fibra longitudinal, la combinación SA+HA LL presentada en el estudio en referencia, muestra una respuesta máxima de 0.9255 m-1 a las 4:30 horas, en comparación a la probeta SA+LONG+LINO2+PEG2 que presenta una respuesta máxima de 1.50812 m-1, y la probeta HA+LONG+LINO2+PEG1 que presenta una respuesta máxima de 2.41834 m-1, estas últimas sin delaminación, con una deformación homogénea y recuperación del estado inicial. En las probetas reforzadas con fibra de Lino se observa una respuesta 2.6 veces mayor que la combinación SA+HA LL, y a las 4:30 horas ambas probetas de lino presentaron una curvatura circular mayor a 1.1871 m-1, siendo notable la obtención de una mayor deformación respecto a la respuesta de la combinación que no presenta fibra de Lino.
- Bajo condiciones similares de bicapas con sentido de fibra transversal, la combinación SA+HA TT, muestra una respuesta máxima de 20.3406 m-1 a las 24:00 horas, en comparación a la probeta SA+TRANS+LINO2+PEG2 que presenta una respuesta máxima de 71.90106 m-1, y la probeta HA+TRANS+LINO2+PEG1 que presenta una respuesta máxima de 158.672 m-1. En las probetas

reforzadas con fibra de Lino se observa una respuesta 7.8 veces mayor que la combinación SA+HA TT. Además, que únicamente recuperan el estado inicial las probetas reforzadas con fibra de lino ya que la combinación SA+HA TT, presenta una deformación muy pronunciada con respecto al estado inicial.

- Se identifica que en las capas reforzadas con fibra de lino se presenta una mayor deformación ya que uno de los factores que interviene al tener especies de madera como capa activa, es presentar una mayor rigidez asociada a capas pasivas de menor espesor como la fibra de lino, lo que favorece una mayor respuesta del material bicapa, ya que en compuestos delgados se potencializa la magnitud de deformación.

Figura 154 Comparación Tiempo Vs. Deformación de las probetas SA+HA LL, SA+LONG+LINO2+PEG2, HA+LONG+LINO2+PEG1, SA+HA TT, SA+TRANS+LINO2+PEG2 y HA+TRANS+LINO2+PEG1

COMPONENTES	%HR CICLO DE HUMEDAD	ESPESOR (mm)	DEFORMACIÓN MÁXIMA
SA+HA LL	90%	0.97	0.9255 m-1
SA+LONG+LINO2+PEG2	90%	0.48	1.50812 m-1
HA+LONG+LINO2+PEG1	90%	0.61	2.41834 m-1
SA+HA TT	90%	0.97	20.3406 m-1
SA+TRANS+LINO2+PEG2	90%	0.48	71.90106 m-1
HA+TRANS+LINO2+PEG1	90%	0.61	158.672 m-1

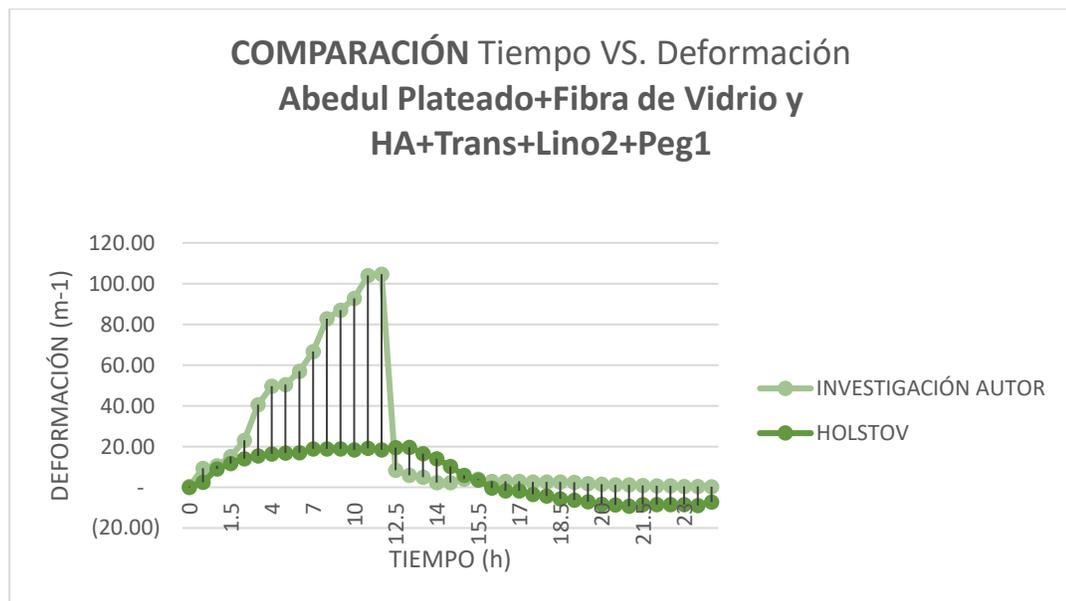
Fuente: Autor

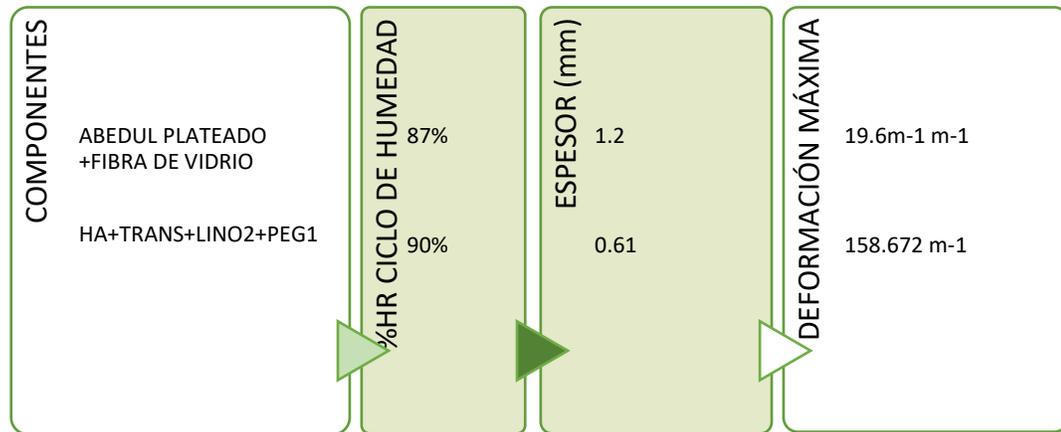
De igual forma se realiza una comparación de los resultados obtenidos por Holstov, respecto a los valores anteriormente descritos, en los que se usa como compuesto de madera la especie Abedul Plateado (*Betula pendula*), una clase de madera dura aplicable a higromórfos de bajo espesor. En esta investigación tal como lo describe Holstov et al., la respuesta de muestras de higromórfos de 150 mm de largo y 100 mm de ancho, con una capa activa de abedul plateado de corte giratorio de 1mm y una capa pasiva de fibra de vidrio de 0,2 mm expuesta a ciclos de humectación ante 87% HR y de secado cada 15 horas, se tiene es una curvatura máxima de 19.6 m-1 que en comparación a la probeta

SA+TRANS+LINO2+PEG2 es 8.09 veces menor. Además, se identificó las siguientes relaciones:

- El compuesto bicapa de Abedul Plateado en los ciclos de secado presenta una deformación por debajo del rango cero, es decir se presenta una deformación en el sentido contrario a la magnitud de deformación inicial, diferente a las probetas que usan la fibra de lino como refuerzo que se mantuvieron en el límite elástico sin entrar al límite plástico. Es así como en las probetas con fibra de lino se da una recuperación del estado inicial con deformaciones leves menores a 5mm y en un tiempo mayor, tal como se observa en un ciclo de humectación y secado en la (**Ver Figura 155**), debido a que la capa de Abedul Plateado + Fibra de vidrio al haber alcanzado su límite elástico presenta una deflexión excesiva y daños irreversibles, además que “esto conduce a que los materiales compuestos muestren una curvatura no uniforme inmediatamente después de la pulverización y durante las etapas de secado”. (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015)

Figura 155 Comparación Tiempo Vs. Deformación de las probetas Abedul Plateado + Fibra de Vidrio y HA+Trans+Lino2+Peg1



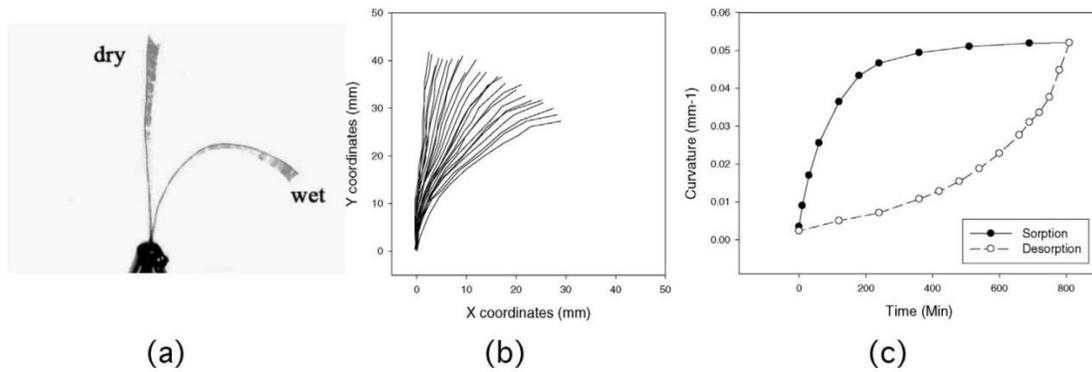


Fuente: Autor

Por último, se realiza una comparación con la investigación denominada “*Moisture-induced self-shaping flax-reinforced polypropylene biocomposite actuator*” de (Duigou & Castro, 2015), en la que emplean un biocompuesto de 40 mm × 10 mm de fibra de lino (haces y fibras individuales), con otra capa hecha de fibra sintética de polipropileno, y con una unión que se produce mediante prensado en caliente. En esta propuesta de bicapa se registra una curvatura de flexión K con un valor medio máximo de $0,052 \pm 0,008 \text{ mm}^{-1}$ (**Ver Figura 156**), valores cercanos al bicapa de lino y chapilla de madera en el sentido longitudinal, que aunque en esta investigación el lino actuó como capa activa y la capa pasiva es la matriz polimérica de polipropileno, son menores los valores de magnitud de deformación debido a que se exponen a una humedad únicamente del 50%. Además, que es más lento el movimiento debido a la falta de una estructura funcional para el transporte de agua en comparación al bicapa de madera con fibra de Lino, ya que como lo mencionan los autores el polipropileno es un polímero apolar con baja energía superficial que absorbe poca agua.

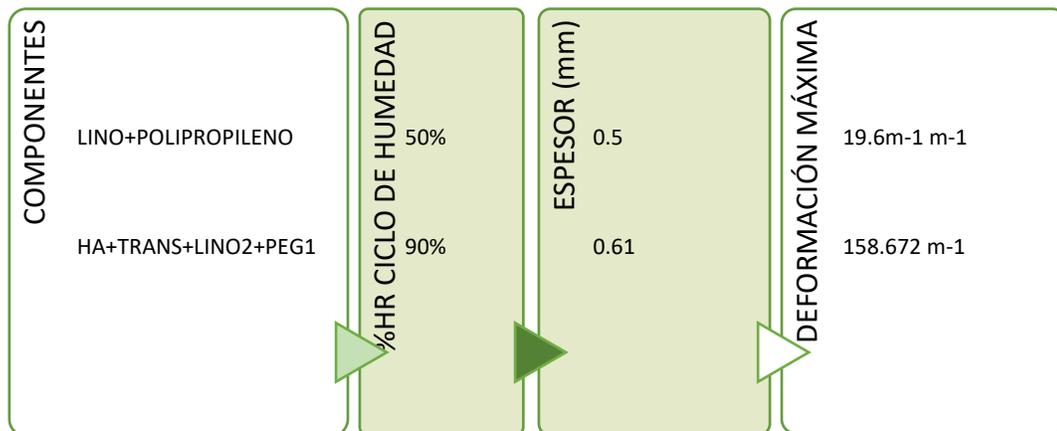
Por otra parte en el compuesto de (Duigou & Castro, 2015) se evidencio que con el uso del mismo polímero en ambas capas se asegura una continuidad entre la capa activa y la pasiva reduciendo la delaminación, en comparación al uso de pegamentos a base solvente.

Figura 156 Curvatura típica medida en función del tiempo durante la sorción (símbolos rellenos) y la desorción (símbolos huecos) para $m = 0,5$ LINO+POLIPROPILENO



Fuente: (Duigou & Castro, 2015)

Figura 157 Comparación Tiempo Vs. Deformación de las probetas LINO+POLIPROPILENO y HA+Trans+Lino2+Peg1



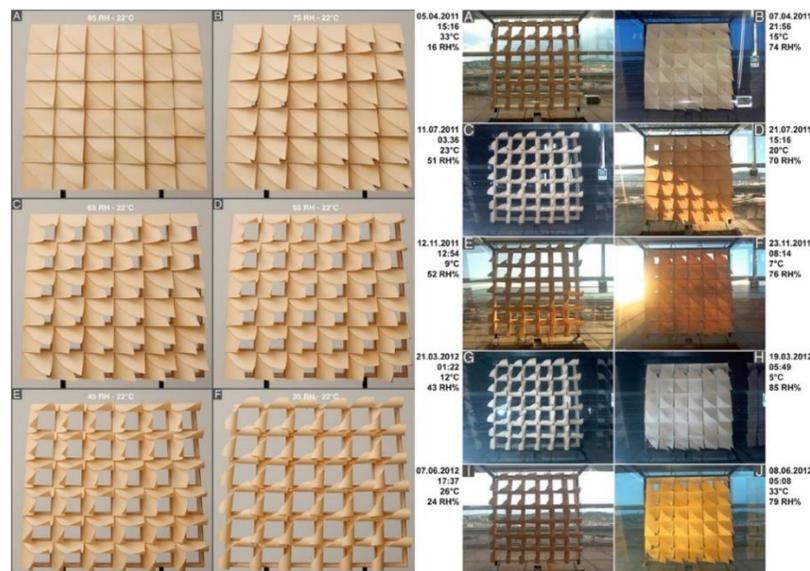
Fuente: Autor

9. Aplicaciones Potenciales

9.1 Arquitectura Biomimética Pasiva

Se toma como referente el revestimiento de edificios biomiméticos basado en la magnitud de deformación del material a estímulos higromórficos. (Ver **Figura 158 y 159**). A partir de un sistema base que se multiplica en varias subestructuras modulares accionadas individualmente, para dar un movimiento de apertura y cierre a media que cambia según los niveles de humedad. Además, se da prevalencia a los sistemas modulados, al ofrecer una simplicidad constructiva con fines económicos y regulares. Además de una configuración estética que toma el módulo método compositivo.

Figura 158 Pruebas de laboratorio de sistema arquitectónico adaptativo



Fuente: (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015)

Figura 159 Piel de edificio arquitectónico: un prototipo funcional mayor construido para explorar las posibilidades funcionales del sistema material presentado.

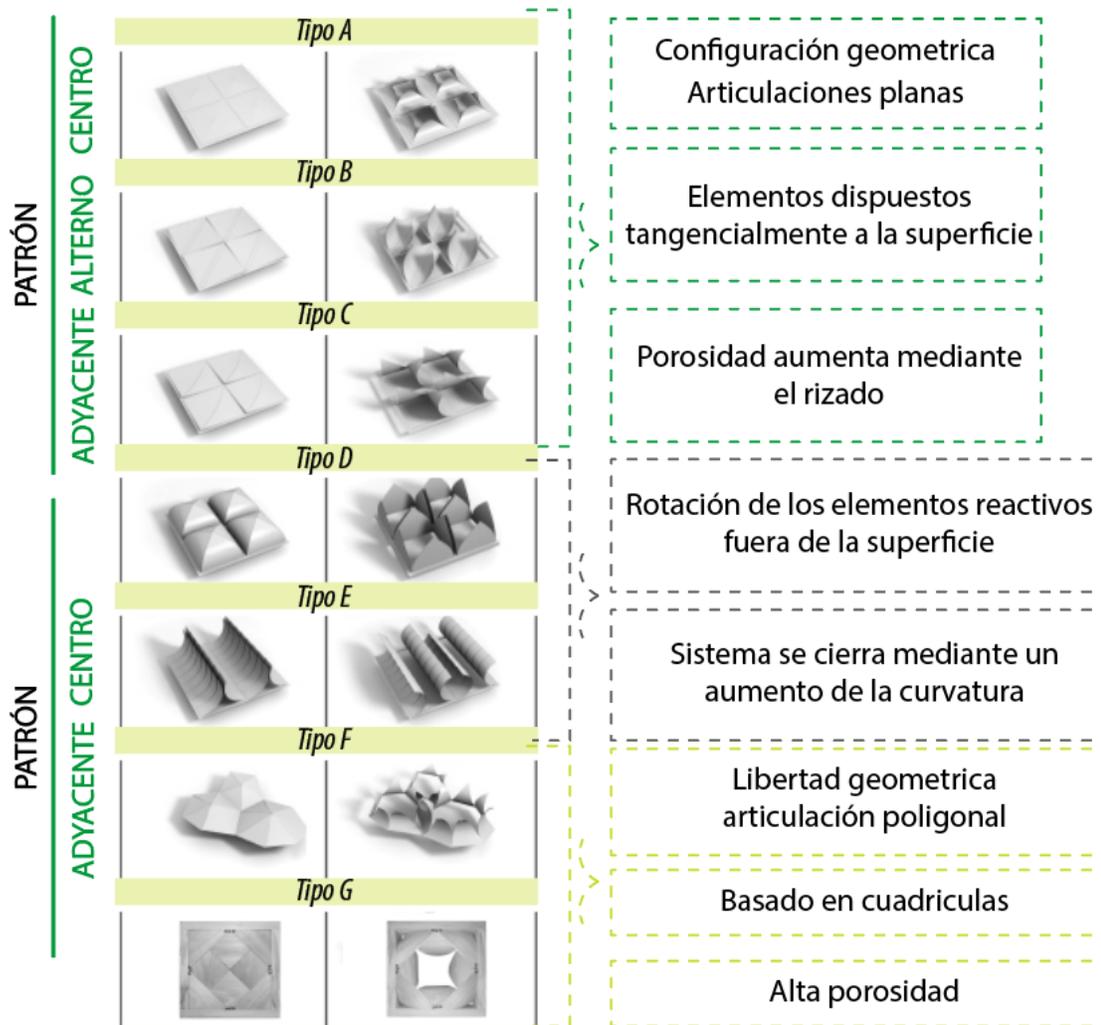


Fuente: (Holstov, Bridgens, & Farmer, Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture, 2015)

Este tipo de proyectos se constituyen como un factor de protección solar, que brindan una mejor integración arquitectónica sustentable, además de reducir los gastos de energía eléctrica y mejorar las condiciones de iluminación, con fácil adaptabilidad a cualquier entorno.

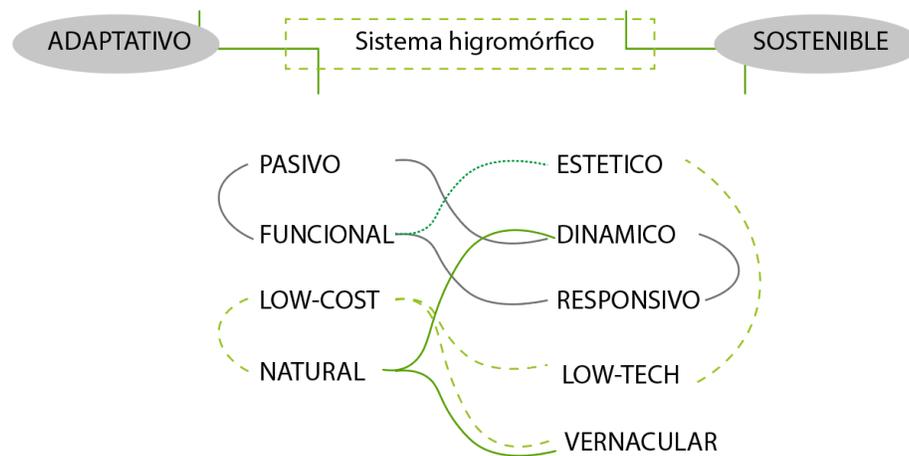
Un factor importante a tener en cuenta son los tipos de geometría del material reactivo (madera y fibra lino), al depender de esta la respuesta de la estructura, al facilitar un resultado de mayor o menor apertura. Asimismo, se resalta que la aplicación constructiva del material bicapa propuesto, se puede dar a través de la configuración en módulos (**Ver Figura 160**) que pueden ser repetibles para ser colocados sobre una superficie y adaptarse a la configuración de envolventes.

Figura 160. Patrones de configuraciones modulares del bicapa de madera y fibra de lino



Fuente: Elaborado a partir de (Reicher, Menges, & Correa, 2015)

Es por esto que, la configuración geométrica da paso a la modulación de estructuras de apertura modular higroscópica, en materiales bicapa de madera reforzados con fibra de lino. En donde se obtiene una respuesta pasiva en la que se aprovecha las propiedades físicas de cada uno de los compuestos, para dar una respuesta más sostenible (**Ver Figura 161**) al disminuir la energía incorporada en mecanismos de regulación.

Figura 161 Variables del sistema higromórfico

Fuente: Autor

Es claro que el uso de materiales naturales como la madera y fibra de lino, constituyen una solución para servir de base estructural en el desarrollo constructivo de nuevos elementos de envolventes. Además de ser biodegradable, se convierte en un sistema higromórfico, más adaptativo y sostenible frente a las pruebas de humedad.

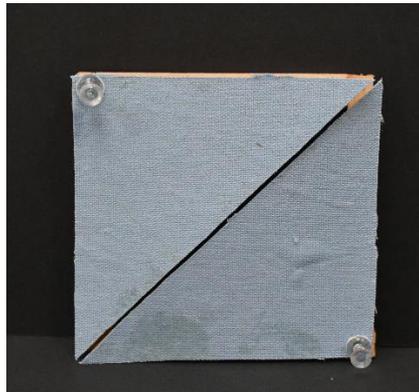
A continuación, (**Ver Figura 162**) se muestran diferentes posibilidades de módulos de apertura y cierre bajo humectación controlada, que permiten generar transformaciones de forma de compuestos de madera higromórfica bicapa de madera y fibra de lino, equivalentes a los sistemas sensibles naturales. Con el fin de mostrar la aplicabilidad del principio biomimético extraído de la piña de conífera, en envolventes de madera modular con ciclos continuos de cerramiento e iluminación del espacio interno, hasta una escala más grande. Ya que “la aplicación de materiales higromórficos en revestimientos de edificios adaptables brinda oportunidades para el diseño de arquitectura bioclimática de respuesta pasiva que está en constante sincronización con niveles variables de la humedad atmosférica y la humedad ambiental.” (Holstov, Farmer, & Bridgens, Sustainable Materialisation of Responsive Architecture, 2017).

Figura 162 Propuestas de módulos de compuestos bicapa de madera y fibra de lino

EJEMPLO 1
Módulo con apertura en sentido paralelo a los puntos de apoyo del bicapa, con una división central respecto al marco de la estructura.



EJEMPLO 2
Módulo con apertura en sentido paralelo a los puntos de apoyo del bicapa, con una posición triangular respecto al marco de la estructura.



EJEMPLO 3
Módulo con apertura en sentido perpendicular a los puntos de apoyo del bicapa, con una posición ortogonal respecto al marco de la estructura.

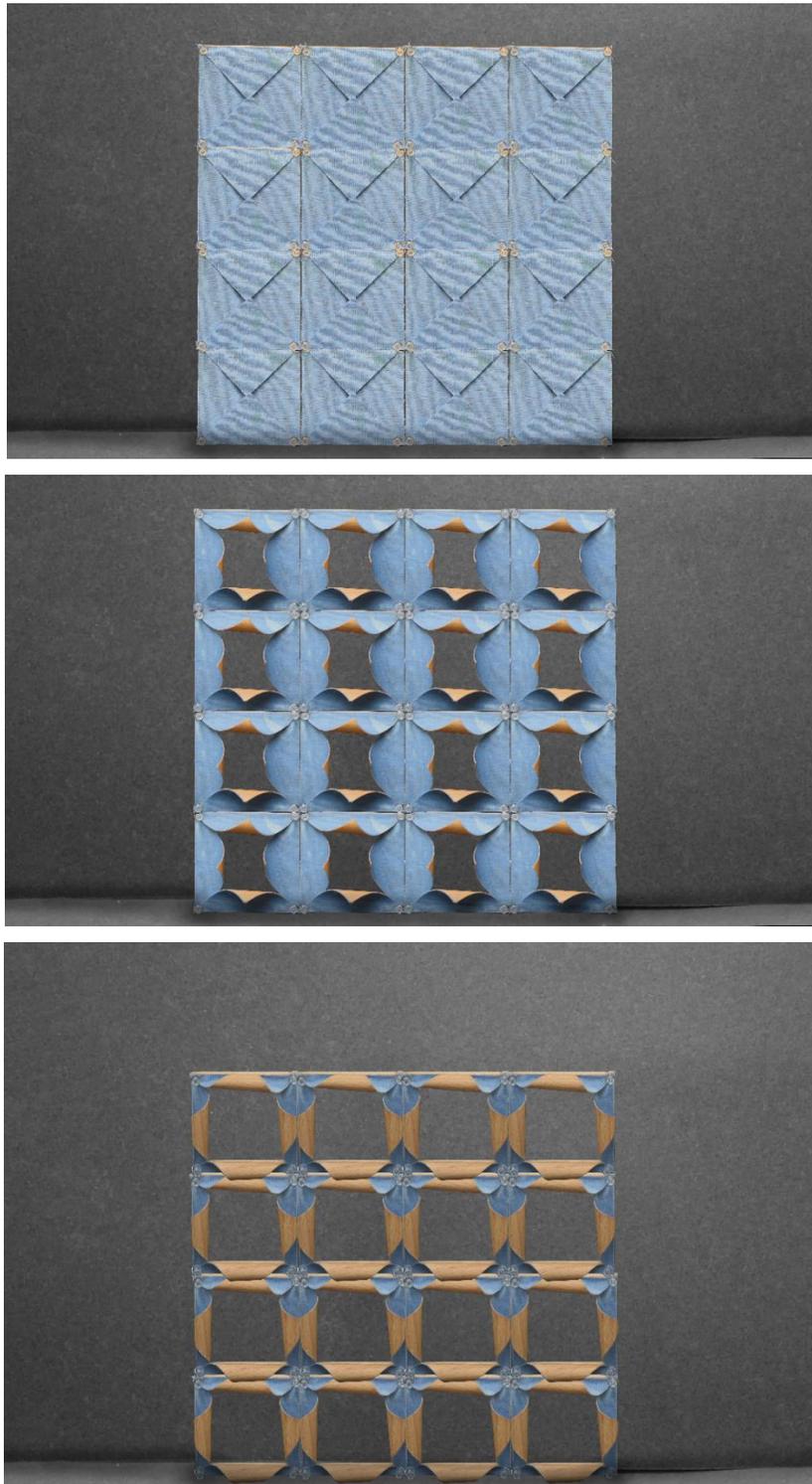


EJEMPLO 4
Módulo con apertura en sentido paralelo a los puntos de apoyo del bicapa, con una división central respecto al marco de la estructura.



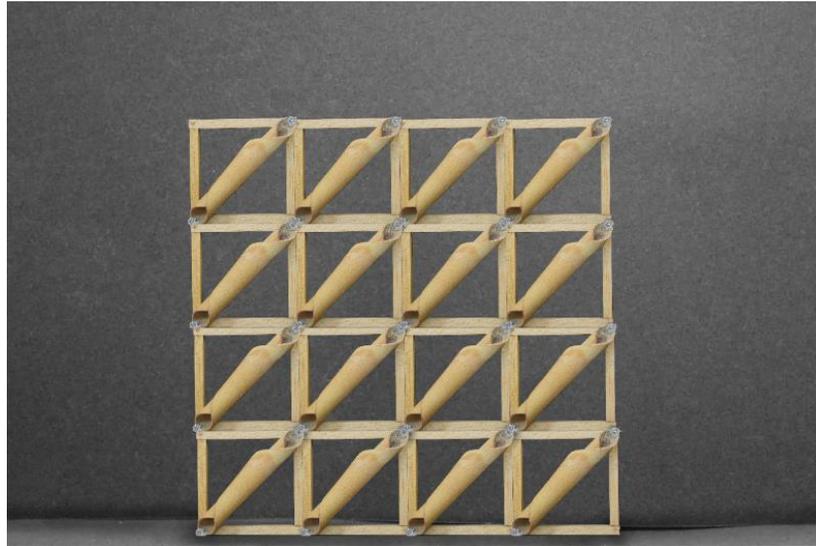
Fuente: Autor

Figura 163 Propuesta 1 de estructura modular a partir de piezas base de bicapa de madera y fibra de lino, que se repiten.



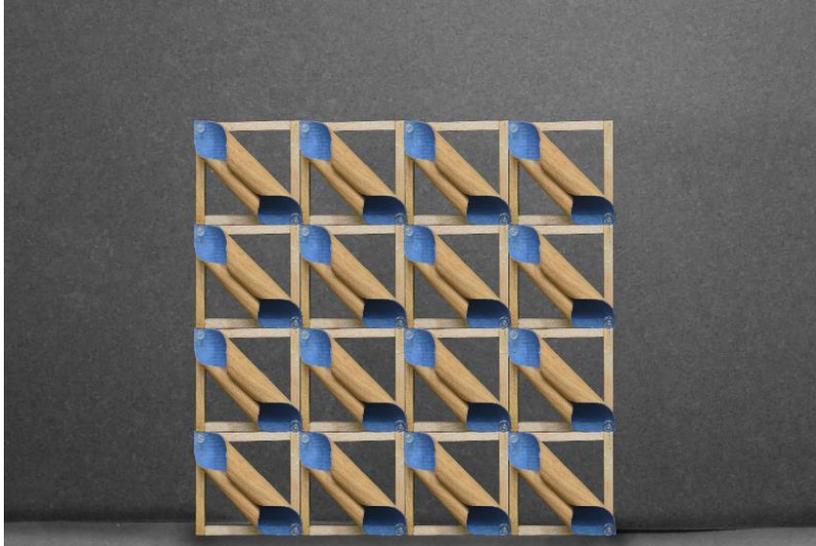
Fuente: Autor

Figura 164 Propuesta 2 de estructura modular a partir de piezas base de bicapa de madera y fibra de lino, que se repiten.



Fuente: Autor

Figura 165 Propuesta 3 de estructura modular a partir de piezas base de bicapa de madera y fibra de lino, que se repiten.



Fuente: Autor

Se observó, que los módulos compuestos de madera y fibra de lino (**Ver Figura X,Y,Z**) tienen una respuesta de apertura total alrededor de los 30 Minutos, Las propuestas son sistemas de estructuras bidimensionales de 100x100 mm con una apertura simple, que pueda ser replicable a gran escala en envolventes, donde se controlen los ángulos de

deformación según las configuraciones geométricas, y sea optimizada su respuesta a través de métodos de simulación digital que permitan la construcción de modelos de material basados en sus propiedades y respuestas condicionadas a las variables climáticas del lugar.

9.2 Métodos de Simulación

Debido a la importancia de establecer un recurso innovador, se utiliza el método de simulación, que se basa en el diseño digital 3D al implementar softwares que permiten obtener una representación geométrica orientada en parámetros y variables adaptables según lo proyectado, abriendo la posibilidad a nuevos procesos de diseño, es decir:

“determina las condiciones necesarias y se realizan pruebas con variables denominadas parámetros. Una vez seleccionados los parámetros (internos y externos - contextuales) se realiza una programación del proceso, que implica manipular los parámetros dimensionales, para lograr el producto que más se relacione con las premisas de diseño establecidas.” (Navarrete, 2014)

Con el uso de estos procesos, es viable aumentar la productividad, ya que una computadora es mucho más eficiente y rápida en hacer simulaciones con parámetros preestablecidos. Datos que se caracterizan por su capacidad para generar diseño paramétrico basado en un esquema de algoritmos, que al alterar las condiciones iniciales da como resultado variedad de procesos representativos de forma visual, constituyéndose como medio de exploración de nuevos resultados de una manera más flexible.

De acuerdo al cumplimiento de la función específica de los materiales seleccionados, se da una solución a los problemas tecnológicos desde un análisis de referentes naturales materializados a través de herramientas digitales. Dentro de estas herramientas se destacan: Rhinoceros como software que permite el modelado preciso en 3D al incorporar variables que generan las diferenciaciones geométricas.

Este programa “se basa en las populares matemáticas NURBS (B-spline racional no uniforme), que permite la construcción de superficies orgánicas de

forma libre que son compatibles con la mayoría de los otros modelos de computadora. Para hacer frente a la creación rápida de prototipos que utilizan la aproximación por facetas”. (CHENG, 2013)

Por su parte, el software específico elegido fue Rhinoceros por la facilidad de su modelado al ser intuitivo, con fácil acceso comercial, además de tener un hardware común que le da compatibilidad con otros programas de diseño. Es óptimo su aprovechamiento, debido a que permite desarrollar un objeto tridimensional a partir de una representación matemática. Es por ello que la utilización de este tipo de tecnologías, logra resultados efectivos en todas sus etapas, especialmente en la de formalización y conformación (materialización). A partir de los primeros instantes del dibujo o boceto, se pueden ir incorporando archivos realizados en otras aplicaciones, con software 2D de ilustración vectorial o simples dibujos a mano alzada, hasta el modelado y fabricación de prototipos 3D basados en mallas poligonales como una cantidad ilimitada de polígonos, que generan resultados efectivos en función de la simulación proyectada.

Con el uso de este software, se mejora el flujo de trabajo, además de abrir un panorama de posibilidades geométricas de implementación de la propuesta, para incorporar análisis ambientales que permitan una cuantificación de los datos. Se destaca la variedad de complementos especializados disponibles, como lo es grasshopper, empleado para el desarrollo de simulaciones al ofrecer eficiencia en el trabajo por la rapidez a la hora de realizar modificaciones en el diseño; ya que, al modificar un parámetro automáticamente se actualiza la forma final en base a esa nueva configuración, tal como se indica a continuación:

“Como potencialización en el campo de la arquitectura inflable se explora la incorporación del software grasshopper empleado como técnica de diseño paramétrico para su formalización. Es un programa de diseño paramétrico que funciona con “inputs” y “outputs”. La interfaz de trabajo nos muestra una serie de elementos que van conectándose para generar un determinado resultado.”
(González, 2016-2017)

Sobre la base de estos procesos se formaliza la versatilidad que ofrece Grasshopper en su aplicación práctica, al establecer una relación entre las acciones de un usuario y la reacción

que esto genera en un objeto. Otra de las ventajas de esta arquitectura aun en exploración, es ser una alternativa ecológica frente a los materiales tradicionales empleados en la construcción. Dentro de los complementos seleccionados para la simulación climática se destaca Ladybug que permite el análisis de datos meteorológicos en Grasshopper, evaluando el conjunto de relaciones con la humedad por medio de parámetros importados.

Por lo tanto se observa que “Ladybug combina la geometría de Rhino y la interfaz paramétrica de Grasshopper con datos meteorológicos de código abierto de EnergyPlus (archivos .epw) para crear gráficos y diagramas de análisis climático específicos del sitio.” (Mackey, 2014). De esta manera son visualizados de forma inmediata obteniendo análisis interactivos.

El uso Ladybug proporciona programación visual que incorpora el diseño digital a través de análisis climáticos. Sirve de guía para la toma de decisiones en el proceso de diseño, al aprovechar la producción de gráficos 3D interactivos que a su vez se conectan a cualquier motor de geometría, al ser integrado con una interfaz complementada con herramientas como Kiwi3D que es una extensión dentro de los diferentes productos de software que permite:

“la integración de análisis isogeométrico (IGA). La característica especial de IGA radica en el uso de B-Splines Racionales No Uniformes (NURBS) como funciones base para los Elementos Finitos. Por lo tanto, permite ejecutar simulaciones directamente en NURBS sin necesidad de mallado” (Rodricks, 2020)

Así lo expuesto, con resultados de elementos 3D se logra mostrar las deformaciones y calcular los desplazamientos, que pueden generar formas con alta precisión geométrica que simplifica y agiliza el proceso de generar un prototipo aplicable al sector de la construcción.

Por otra parte, Kiwi3D simula los procesos de:

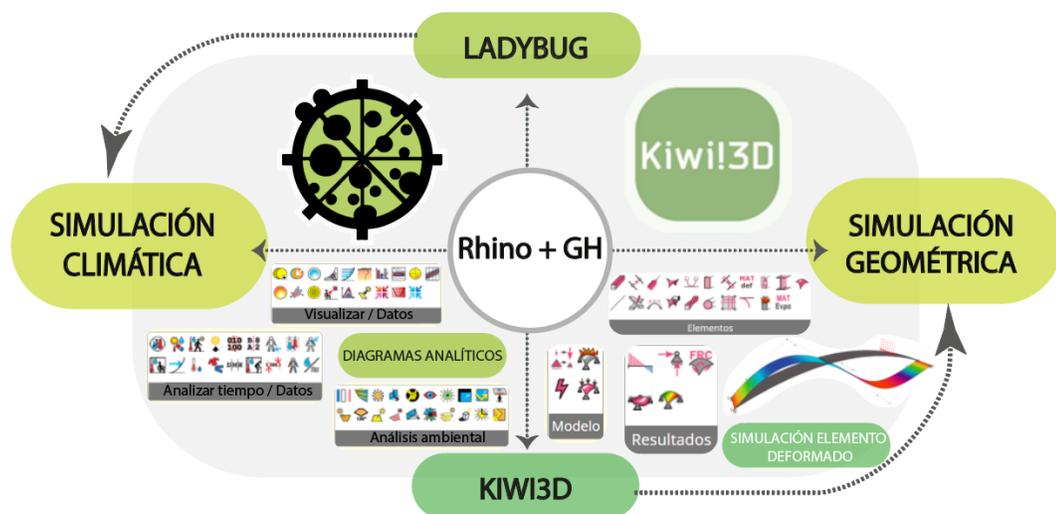
“deflexión de los elementos, manteniendo la relación necesaria que existe entre la forma y las fuerzas, y donde gracias a su enfoque paramétrico permite

explorar las propiedades estructurales (cargas, material, soportes y uniones) con el fin de encontrar la forma final optimizada” (Uribe, 2020)

A través de una serie de herramientas que parten de la creación de elementos en Grasshopper a partir de superficies, pueden ser alimentadas por la especificación del material para posteriormente obtener análisis lineales o no lineales. En el caso específico de la primera tesis se realizan análisis lineales entendidos como esfuerzo-deformaciones, donde las fuerzas son directamente proporcionales a los desplazamientos y tal como se indica hay una relación lineal entre estas dos variables.

Por último, el uso de herramientas como Ladybug y Kiwi3D, al incorporar un proceso paramétrico iterativo, logra optimizar los procesos de simulación al tener una interoperabilidad entre programas. Esto permite el intercambio de datos y análisis, ampliando las funciones de aplicaciones del software base.

Figura 166 Softwares de modelado 3D aplicables a los métodos de simulación

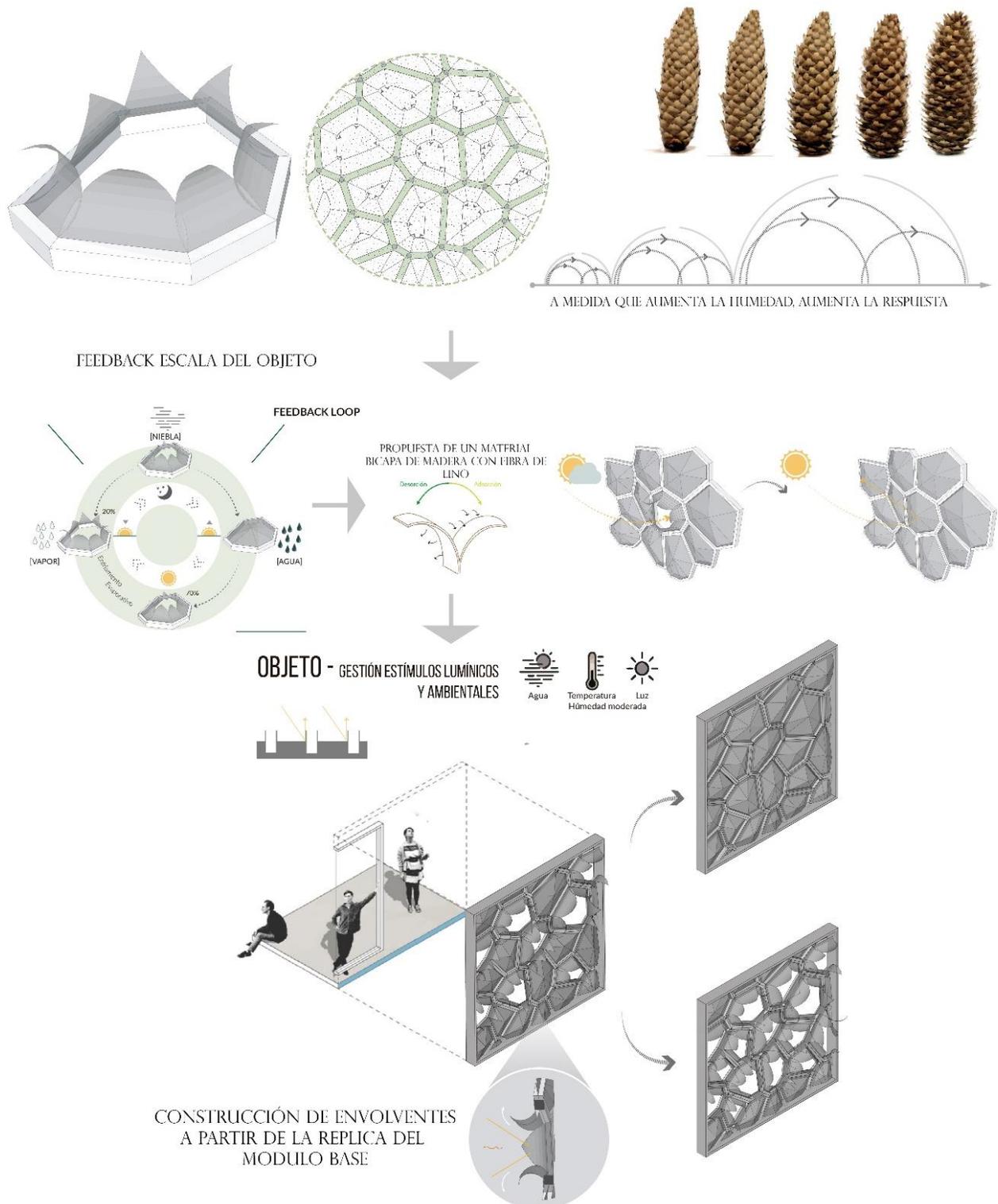


Fuente: Elaboración propia a partir de (Rodricks, 2020)

Es así como, en la **Figura 166** a partir de la estrategia biológica de flexión de las piñas de conífera se propone una envolvente que emplea un material higromórfico que de apertura y cierre como medio de gestión de la luz, y sea replicable para crear una fachada porosa

basada en la geometría de regulación de ciclos circadianos, como resultado de Softwares de modelado 3D

Figura 167 Propuesta modulo geométrico higromórfico



En la construcción de una envolvente a partir de la réplica de un módulo base higromórfico, se muestra cómo se puede utilizar el principio biomimético de apertura y cierre mediante el uso de métodos de simulación, para crear respuestas pasivas autónomas, donde “los cambios climáticos desencadenan un movimiento innato en la materia, el proyecto se comporta con la capacidad de elasticidad del material, no requiriendo el suministro de energía operativa ni ningún control mecánico o electrónico. La estructura material misma es la máquina. Su comportamiento autosuficiente abre la posibilidad de ecologismo integrado” (Tonýíková & Csúzová, 2022). Centrado en la simulación de sistemas de envolventes configuradas por las condiciones del contexto, para generar algoritmos de programación como insumo en la construcción de módulos de construcción.

10. Conclusiones y recomendaciones

10.1 Conclusiones

El uso de la biomimesis como método de diseño, ofrece la emulación de procesos adaptativos físico mecánicos que responden de forma pasiva a estímulos ambientales como la humedad, con el fin de obtener soluciones en el sector de la construcción que logren un acondicionamiento ambiental, por medio de las características propias de los materiales. Tal es el caso de las piñas de coníferas, que como se evidencio en la investigación presentan una apertura en condiciones secas, en las que sus semillas se doblan y un cierre al exponer los conos caídos a un ambiente húmedo, evidenciando su capacidad de respuesta reversible durante un gran número de ciclos de humedad y secado gracias a una microestructura bicapa en las que las fibras superiores se curvan ante la humedad, mientras que las inferiores se separan.

A partir del comportamiento higromórfico de las piñas de coníferas se encontró que al emular el proceso por medio del uso de la inestabilidad dimensional de la madera respecto al contenido de humedad reforzada con fibra de lino, se mejora la respuesta autónoma de los materiales bicapa a los cambios climáticos. Si bien el Lino actúa como capa pasiva, se presenta una mejor respuesta del lino orgánico debido a una "acción capilar" es capaz de extraer agua a través del interior de su fibra, además de estar compuesto de 80% lino y 20% algodón orgánico el cual es capaz de absorber hasta 27 veces su peso en agua líquida debido a sus propiedades hidrofílicas, de acuerdo con Cotton In.

Por otra parte, en la selección de los componentes a ser usados en el bicapa de madera y fibra de lino, se encontró que el índice de higr expansión (α) del lino es 0.34 veces mayor que el coeficiente máximo registrado en las especies de madera correspondiente a la especie Haya en sentido transversal. A partir de ello, al ser medida teóricamente la

curvatura circular (K) por medio de la teoría de los termostatos bimetálicos, (Timoshenko1925) se esperaba que la fibra de lino fuera la capa activa. Sin embargo, al llevar a cabo las mediciones de las probetas expuestas a una humedad relativa del 90%, se evidenció que la fibra textil reacciono como la capa pasiva, convirtiéndose el lino en el refuerzo de la capa pasiva que termino siendo el adhesivo de contacto a base solvente.

De esta forma se encuentra que la capa pasiva es una capa compuesta de adhesivo a base solvente reforzado con fibra lino, que no se ve afectada por la humedad, debido a que el adhesivo tapa todos los poros del lino quedando impermeabilizado, disminuyendo las posibilidades de delaminación. De igual forma se encontró que otro factor determinante en la selección de los componentes, es la presencia de anomalías o irregularidades en las vetas de la madera, lo cual dificulta prever el sentido en que se da la torsión de la magnitud de deformación, evidente en la especie de Teca Natural que además presento deformación no uniforme en dos de sus casos.

A partir de la selección del material bicapa de madera y fibra de lino, al exponerlo a las condiciones de humedad relativa de Bogotá, se encontró que en la selección de los componentes a ser usados en el bicapa de madera y fibra de lino, las combinaciones con mayores respuestas fueron las que usaron la especie de Haya, Sapelli y lino orgánico, ya que presentan un menor espesor total del compuesto del material bicapa y poseen los mayores de índice de higr expansión (α), mostrando una magnitud de deformación que a los treinta (30) minutos supera los 19 m^{-1} de curvatura radial y llegan a alcanzar una curvatura final en el ciclo de humectación en el sentido transversal hasta de 158.67 m^{-1} , que es mayor a los resultados de la investigación de (Pérez Cabrera, 2019) en donde solo tres de las probetas alcanzan más de 10 m^{-1} de deformación. Además de encontrarse que en un 90% se dio una recuperación del estado inicial por debajo de una deformación de 5mm.

De esta forma se evidencia que el comportamiento higromórfico de bicapas reforzados con fibra del lino, presenta mejores desempeños en comparación a los compuestos bicapa sin esta fibra, al observarse en combinaciones que utilizan las mismas especies de madera y dimensiones de probetas, con una matriz de unión de adhesivo de contacto base solvente, expuestas a una humedad al 90%, una respuesta 2.6 veces mayor en el sentido longitudinal y 7.8 veces mayor en el sentido transversal.

Para finalizar, el trabajo realizado es un aporte a la investigación en el desempeño de los materiales bicapa, al evidenciar el potencial de fibras como el lino en la configuración de geometrías sensibles al clima, con el objetivo de mejorar la respuesta de las envolventes en las edificaciones al disminuir el impacto ambiental con el uso de materiales naturales, y contribuyendo paralelamente a la adaptabilidad climática

10.2 Recomendaciones

Después de haber desarrollado esta investigación, bajo los parámetros y metodologías previamente planteadas, se propone para futuras investigaciones el uso de polímeros reforzados con otras fibras naturales biodegradables y de baja energía incorporada como el algodón, cáñamo, yute, coco, sisal, entre otros; que permitan comparar su desempeño ante la humedad (magnitud de deformación, tiempo de respuesta e integridad estructural), y a su vez poder determinar cuál es la degradación presentada del material a una exposición continua a agentes atmosféricos que lo hace más susceptible a ataques de hongos, radiación prolongada, y lluvias en un periodo de tiempo a mayor largo plazo. Además, seleccionar capas pasivas de fibras naturales con diferentes direcciones de fibra según el tejido del textil, el diámetro, número de haces por hilo y el enrollamiento, para observar cómo reacciona el compuesto, así como poder maximizar ciertas propiedades.

Así mismo, se recomienda realizar el desarrollo de una matriz de unión con menor impacto ecológico, que evite el consumo de solventes orgánicos, incremente las propiedades mecánicas y tenga una buena adherencia que prevea los ciclos repetitivos de deformación, para obtener una baja delaminación entre las fibras de textil y madera, que es el inconveniente principal que se presentó en la manufactura y desarrollo de los compuestos bicapa. Además, de responder a la exposición a cambios de humedad, y llegar a tener una función de dar una mejor respuesta del compuesto ante la descomposición biológica, los ataques de hongos e insectos.

Dentro de esta línea de desarrollo se sugiere el estudio de resinas de colofonia obtenidas a partir de las coníferas (pinos), usadas para laminados ya que aporta resistencia a la penetración de líquidos, además de contar con características físico-químicas que combinadas con su carácter de origen natural, le otorgan un buen desempeño como

adhesivo, siendo de sus principales aplicaciones debido a que “el desempeño de los derivados de la colofonia en la formulación de estos productos se ha visto mejorado gracias a la obtención de compuestos cada vez más estables, impartiendo una mejor adhesividad, capacidad de transferencia, humectación, entre otras” (Tellería, Villanueva, & Henríquez, 2018)

De igual forma el proceso de simulación es un campo por explorar, en la configuración de geometrías programadas para la deformación que vayan desde la escala del material hasta una escala de estructura, partiendo de una tecnología paramétrica que tenga un diseño iterativo en donde se pueda alimentar las variables de espesor del material y dimensión de las piezas, ya que determinan la curvatura de flexión y la integridad del material tras los ciclos de humedad y secado, para ser aplicados a envoltentes que permitan tener un control lumínico. Dicho esto, y teniendo en cuenta los avances en el desarrollo de eco-envoltentes se ha de evaluar la aplicación de otros mecanismos observables en la naturaleza y traducirlos para ser aplicables en el sector de la construcción. Además de ser evaluado el desempeño de los materiales bicapa en periodos de tiempo más prolongados (como mínimo un año) frente a condiciones de intemperie total, para una aplicación a gran escala.

Bibliografía

- Alemania, E. d. (2016-2017). *Proyecto Canberra* . ALEMANIA : ARCHIVO: ALEMANIA – TIERRA DE INNOVACIÓN .
- Al-Obaidia, K., Azzam, M., Hussein, H., & Malik, A. (2017). Biomimetic building skins: An adaptive approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1472-1491.
- Artesanías de Colombia. (3 de 4 de 2014). *Sistema de Información para la Artesanía*. Recuperado el 18 de 9 de 2022, de Fibras vegetales: elemento básico de las artesanías: http://www.artesantiasdecolombia.com.co/PortalAC/C_noticias/fibras-vegetales-elemento-basico-de-las-artesantias_5079#:~:text=De%20acuerdo%20con%20los%20datos,para%20elaborar%20cester%C3%ADa%20y%20cordeler%C3%ADa.
- Badarnah, L. (2014). *A methodology for the generation of biomimetic design concepts*. *Architectural Science Review*, 1-14. doi: 10.1080/00038628.2014.922458. Obtenido de CIENCIA PUERTO RICO: <https://www.cienciapr.org/es/blogs/biotectonica/lidia-badarnah-la-naturaleza-es-una-enorme-fuente-de-soluciones>
- Barrios, A. (28 de Abril de 2012). *Wiki EOI*. Obtenido de Materiales De Construcción Sostenibles En Construcción Sostenible: https://www.eoi.es/wiki/index.php/MATERIALES_DE_CONSTRUCCI%C3%93N_SOSTENIBLES_en_Construcci%C3%B3n_sostenible
- Beltrán, J. C. (2015). *Germinar - Más allá de la biomimesis*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Benyus, J. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: Perennial.
- Bledzki, A., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based EUHV. *Progress in Polymer Science*, 24, 221-274.
- Cabrero, R., Calle, L., Rodríguez, B., & Sevilla, V. (29 de Junio de 2021). *Revista UCA*. Obtenido de La espiral biomimética inspiradora de retos actuales de diseño y

soluciones sostenibles innovadoras:

<https://revistas.uca.es/index.php/proyecta56/7542>

CHENG, R. K. (2013). *Inside Rhinoceros® 5*. USA: CENGAGE Learning.

Cisterna, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria. Universidad Del Bío Bío*, 14, 61–71.

CLIMATE-DATA.ORG. (s.f.). Recuperado el 10 de Septiembre de 2022, de CLIMA BOGOTA (COLOMBIA): <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/bogota/bogota-5115/>

Correa, D., Mi lo Maryland, W., Bruchmann, B., & Menges, U. (2020). Escama de pino 4D: escamas autónomas biomiméticas impresas en 4D y estructuras de aletas capaces de moverse en varias fases. *Philos Trans A Matemáticas*.

De Espinosa, L., Montero, W., Moatsou, D., & Weder, a. C. (2017). Bioinspired Polymer Systems with Stimuli-Responsive Mechanical Properties. *Chemical Reviews*, 12851-12892. doi:10.1021/acs.chemrev.7b00168

Dinwoodie, J. (2000). *La madera, su naturaleza y comportamiento*. Londres: Taylor & Francis.

Duigou, A. L., & Castro, M. (2015). Moisture-induced self-shaping flax-reinforced polypropylene biocomposite actuator. *Industrial Crops and Products*, 1-6.

Dunlop, J., Weinkamer, R., & Fratzl, P. (2011). Artful interfaces within biological materials. *Materials Today*, 14, 70-78. doi:[https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(11\)70056-6](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(11)70056-6)

El Tiempo. (13 de Marco de 2023). *MeteoRed*. Obtenido de El tiempo en Bogotá por horas: <https://www.tiempo.com/colombia/bogota/por-horas>

encolombia. (s.f.). *Industria Textil*. Recuperado el 18 de 9 de 2022, de <https://encolombia.com/economia/info-economica/algodon/industriatextil/>

Farias Iribarren, G. (13 de Marzo de 2017). *LOVA TECH*. Recuperado el 18 de 9 de 2022, de Fibras textiles naturales y moda sostenible: <https://gabrielfariasiribarren.com/fibras-textiles-naturales-y-moda-sostenible/#:~:text=Las%20fibras%20textiles%20naturales%20son,producci%C3%B3n%20industrial%20de%20las%20sint%C3%A9ticas.>

Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 60, 1552-1596. doi:<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>

- Faruk, O., Bledzki, A. K., Hans, P. F., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers. *Progress in Polymer Science*, 37, 1552-1596.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>
- Font Quer, P. (1982). *Diccionario de botánica*. Barcelona.
- González, G. O. (2016-2017). Construcciones bajo presión de aire y su formalización en la actualidad Mediante el software grasshopper.
- Harris, F. (2022). *Todo sobre el Lino*. Obtenido de <https://shop.harrisandfrank.com.mx/pages/todo-sobre-lino>
- Hensel, M. (2011). *La Arquitectura Orientada a la Performance y el Complejo de Organización Espacial y Material*. Repensar la definición, el rol y la capacidad performativa de los límites espaciales y materiales del entorno construido.
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación, Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.
- Holstov, A., Bridgens, B., & Farmer, G. (2015). Hygromorphic materials for sustainable responsive architecture. *Construction and Building Materials*, 98, 570-598.
- Holstov, A., Farmer, G., & Bridgens, B. (16 de March de 2017). Sustainable Materialisation of Responsive Architecture. *sustainability*.
- Huerta de Fernando, L. (2017). *Técnicas biomiméticas aplicadas a la arquitectura*. Madrid: ETSAM Escuela Técnica superior de Arquitectura de Madrid.
- Huw, H. (2015). *101 Reglas Básicas para una arquitectura de bajo consumo energético*. Barcelona: Gustavo Gili. Recuperado el 21 de 08 de 2022, de <https://doku.pub/documents/101-reglas-basicas-para-arquitectura-de-bajo-consumo-energetico-el9vgvnexoxy?fbclid=IwAR1VL3Pa8V2NdBxg11hU-yLIb3hPgBzJGFy-Mk3fDpWrfcltVKeHzsJtM>
- ICONTEC. (2003). *MADERAS. MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONTRACCIÓN*. Colombia: NTC 701.
- IDEAM. (2021). *Estudio de la Caracterización climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo*. Alcaldía Mayor de Bogotá. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f36f58db29aa>
- IDEAM. (s.f.). *CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>

- IDEAM. (s.f.). *ESTUDIO DE LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE VOGOTÁ Y CUENCA ALTA DEL RÍO TUNJUELITO*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Junta del acuerdo de Cartagena. (s.f.). *Manual de diseño para maderas del grupo Andino*.
- Le Duigou, A., & Castro, M. (2017). *Hygromorph BioComposites: Effect of fibre content and interfacial strength on the actuation performances*. *Industrial Crops and Products*.
- Li, M., Pu, Y., Thomas, V. M., Geun Yoo, C., Ozcan, S., Deng, Y., . . . Ragauskas, A. J. (2020). Recent advancements of plant-based natural fiber - reinforced composites and their applications. *Composites Part B: Engineering*, 200, 1359-8368. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108254>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836820333047>)
- López Forniés, I. (2014). *Modelo metodológico de diseño conceptual con enfoque biomimético*. Zaragoza, España : Repositorio de la Universidad de Zaragoza – Zagan <http://zaguan.unizar.es>.
- López, M. (2022). Biomimesis, la alternativa para una construcción más sostenible. *Gerencia de Riesgos y Seguros*, 1-4.
- López, M., & González Pueblas, A. (2020). *Arquitectura biomimética y biomimesis*. San Vicente del Raspeig, España: Universidad de Alicante. Obtenido de <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/101905>
- López, M., Rubio, R., Martín, S., & Croxford, B. (2017). How plants inspire façades. From plants to architecture: Biomimetic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 692-703.
- Mackey, C. (s.f.). *Laboratorio de iluminación Baker*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2022, de <https://blogs.uoregon.edu/bakerlightinglab/resources/lightinganalysis/ladybughoneybee-for-grasshopper/>
- Martin Sendra, A. (2020). *Comparative Study Of Natural Fibers To Reinforce Concrete*. Valencia: Higher Technical School of Architecture, Polytechnic University of Valencia.
- Martin, N., Mouret, N., Davies, P., & Baley, C. (2013). *Influence of the degree of retting of flax fibers on the tensile properties of single fibers and short fiber/polypropylene composites*.
- Molina, L. A. (2013). *EVALUACIÓN Y MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA TEJICOLOR*. Bogotá: Universidad del Rosario.

- Mora, D. (2022). *Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL)*. Obtenido de Construcción en Colombia: 2022, año de oportunidades: <https://h2gconsulting.com/how2go-colombia/construccion-en-colombia-oportunidades/>
- Moreno De Luca, L., Galvis Chacón, M. J., & García, R. J. (Enero-Junio 2012). BIOMÍMESIS EN ARQUITECTURA E INGENIERÍA. *Revista M VOL. 9 No. 1*, 78-101.
- Muñoz, K. (2018). *Aprovechamiento de residuos de la industria textil manufacturera para el desarrollo de un material biocompuesto*. San Luis Potosí: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ, FACULTAD DEL HÁBITAT, INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO.
- Navarrete, S. (2014). Diseño paramétrico: El gran desafío del siglo XXI. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 49, 63-72. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-35232014000300005&script=sci_arttext
- Olivares, J. (5 de Julio de 2022). *INECOL Instituto de Ecología*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2022, de Biomimetismo: innovación inspirada en la naturaleza: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/652-biomimetismo-innovacion-inspirada-en-la-naturaleza>
- Peinado Lorca, M. (30 de Agosto de 2019). Recuperado el 9 de Septiembre de 2022, de Aldrovanda vesiculosa: Una curiosa planta carnívora y acuática: <http://www.sobreestoyaquello.com/2019/08/aldrovanda-vesiculosa-una-curiosa.html>
- Pelliccia, G., Baldinelli, G., Bianconi, F., Filippucci, M., Fioravanti, M., Goli, G., . . . Togni, M. (2020). Characterisation of wood hygromorphic panels for relative humidity passive control. *Journal of Building Engineering*, 32. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101829>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710220334628>)
- Pérez Cabrera, D. S. (2019). *Caracterización del comportamiento higromórfico de un material responsivo de dos capas en madera bajo condiciones de humedad relativa de la ciudad de Bogotá*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77418>
- Pérez, D. (2019). *CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIGROMÓRFICO DE UN MATERIAL RESPONSIVO DE DOS CAPAS EN MADERA BAJO CONDICIONES DE HUMEDAD RELATIVA DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

- Poppinga, S., Correa, D., Bruchmann, B., Menges, A., & Speck, T. (2020). *Plant Movements as Concept Generators for the Development of Biomimetic Compliant Mechanisms* (Vol. 60). doi:<https://doi.org/10.1093/icb/icaa028>
- Ramzy, N. (2015). Espacios sostenibles con connotación psicológica: arquitectura histórica como libro de referencia para modelos biomiméticos con cualidades biofílicas. *Int J Arch Res*, 248-267.
- Rayo, C., & Vidal, I. (2016). *TERMOREGULACIÓN NATURAL EN ESPACIOS CERRADOS CON BASE EN EL MECANISMO DE LAS PIÑAS DE CONÍFERAS*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Redacción 360 en Concreto. (s.f.). Argos. Recuperado el 15 de Septiembre de 2022, de CARACTERIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion/>
- Reicher, S., Menges, A., & Correa, D. (2015). Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness. *Computer-Aided Design*, 60, 50-69. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.02.010>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448514000438>)
- Reyssat, E., & Mahadevan, L. (2009). Hygromorphs: From pine cones to biomimetic bilayers. *Journal of the Royal Society, Interface*. doi:10.1098/rsif.2009.0184
- Riechmann, J. (2003). Un concepto esclarecedor, potente y persuasivo para pensar la sustentabilidad. BIOMÍMESIS. *El Ecologista*, nº 36,, 28.
- Rodricks, R. (31 de Enero de 2020). *Grasshopper Docs*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2022, de Documentación de la comunidad para complementos y complementos de Grasshopper: <https://grasshopperdocs.com/addons/kiwi3d.html>
- Rüggeberg, M., & Ingo, H. (2015). Actuadores de madera bioinspirados para aplicaciones a gran escala. *PLoS ONE* 10. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120718>
- Sánchez Ruano, D. (2019). La Biomimesis: más que una herramienta de inspiración para el Diseño. *Artificio*, 24-36.
- Sierra, C. H. (2019). *Re-descubriendo el mundo natural. La biomimesis en perspectiva (segunda edición)*. Bogotá D.C.: Sello Editorial UNAD_ Red internacional de Estudios sobre Biomimesis (RI+3 Biomimicry Network).
- Soriano, N., Roig, I., Fita, S., & Sanz, C. (2013). ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOCÓMPUESTOS CON FIBRAS NATURALES. *Instituto Tecnológico del Plástico (AIMPLAS)*, 4. Obtenido de <https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Fita->

Bravo/publication/258360795_Estudio_de_las_propiedades_mecanicas_de_biocomposites_con_fibras_naturales/links/55e8534b08ae65b638997b58/Estudio-de-las-propiedades-mecanicas-de-biocomposites-con-fibras-natural

Sotelo, A. A. (2015). *El Movimiento de las Plantas :Tropismos y Nastias*. Argentina: FACENA- UNNE.

Steffen, R., Achim, M., & David, C. (2015). Meteorosensitive architecture: Biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness. *Computer-Aided Design*, 60, 50-69.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.02.010>

Tejidos Ecológicos. (11 de Junio de 2020). Recuperado el 10 de Septiembre de 2022, de Tela de lino: <https://www.nastasianash.com/tela-de-lino/>

Tellería, N., Villanueva, S., & Henríquez, M. (2018). Trend study: Applications of Colophony (Rosin) and its Derivatives. *Ingenieria UC*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/707/70757670002/html/>

Textiles Intelligence. (16 de Septiembre de 2022). *CIA Indumentaria*. Obtenido de SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL: FIBRAS NATURALES VS ARTIFICIALES: <https://www.ciaindumentaria.com.ar/plataforma/sostenibilidad-ambiental-fibras-naturales-vs-artificiales/>

Tonýíková, Z., & Csúzová, K. (2022). The emulation of the biomimetics properties of wood by creation of a database of abstract design principles. *Magazine of the faculty of xylogy zvolen*, 97-108.

Universidad de Stuttgart. (s.f.). *BBConstrumat'19*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2022, de Innochain FlectoFold: <https://tectonica.archi/articles/future-house-en-bbconstrumat/>

Urdinola Serna, D. (2018). *Biomimética y diseño*. (E. U. Bolivariana, Ed.) Medellín, Colombia.

Uribe, L. M. (2020). *Estudio de caso de una estructura cinética de flexión activa bio - inspirada en la planta Impatiens capensis*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Artes, Escuela de Arquitectura y Urbanismo. Obtenido de file:///F:/2021-1/MAESTR%C3%8DA/SEMINARIO%201/TESIS%20GUIAS/01_Tesis-Msc.pdf

V., V., F, J., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., & Anja-Karina, A. B. (Fecha de consulta: 29 Agosto. 2020). *Biomimetics: its practice and theory*. *Journal of The Royal Society*. Obtenido de The Royal Society Publishing: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2006.0127>

- Vailati, C., Bachtiar, E., Hass, P., Burgert, I., & Rüggeberg, M. (2018). An autonomous shading system based on coupled wood bilayer elements. *Energy and Buildings*, 158, 1013-1022. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.042>.
- Walker, J. C. (2006). *Primary wood processing : principles and practice*. Dordrecht: The Netherlands: Springer.
- Yunqiao Pu, M. L., Thomas, V. M., Geun Yoo, C., Ozcan, S., Deng, Y., Nelson, K., & Ragauskas, A. J. (2020). Recent advancements of plant-based natural fiber-reinforced composites and their applications. *Composites Part B: Engineering*, 200. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108254>

A. Anexo: Registro búsqueda estratégica

Objetivo: Registrar de forma sistemática el proceso de búsqueda de información

Fase: 1-3

Nombre:

Danna Marcela Ávila Rodríguez

Programa académico:

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN

Fecha:

18/11/2022

Tema o interés de investigación

DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá

Delimitación del tema

Geográfico

Mundial

Cronológico

2010-2022

Idiomas

Todos / Ingles

Otros

Palabras claves

Lenguaje natural	Sinónimos	Normalizadas en español	Normalizadas en inglés
Biomimesis	Biomimetica, Biomimetismo, Bioinspiración	Biomimetica, Biomimetismo, Bioinspiración	Biomimicry, Bioinspiration
Higromorfico	Cambios humedad, Adapatación a humedad	Higromorfico, cambios por humedad	hygromorphic
Fibras naturales	Biomateriales, materiales biológicos naturales	Biomateriales, materiales biológicos naturales	Natural fibers, Natural materials, Biomaterials, natural biological materials

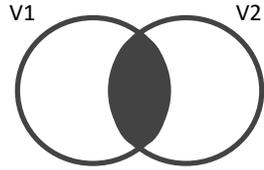
Recursos de información

Bases o Recursos
teóricos, Artículos metodológicos, Estudios de caso, Informes de investigación, Tesis, Otro.

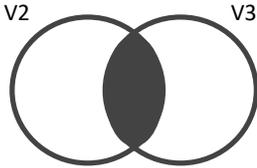
Objetivo: Registrar de forma sistemática el proceso de búsqueda de información

Fase: 4

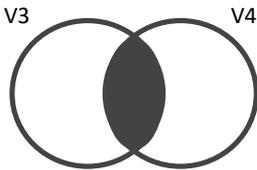
Ecuación de búsqueda simple



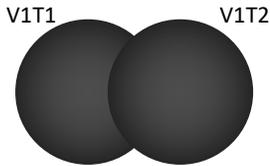
Hygromorphic	AND	Biomimicry, Bioinspiration
humidity changes	AND	Biomimicry, Bioinspiration
Dimensional changes	AND	Biomimicry, Bioinspiration



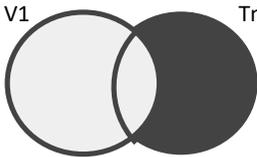
Biomimicry, Bioinspiration	AND	Natural materials
Biomimicry, Bioinspiration	AND	Biomaterials
Biomimicry, Bioinspiration	AND	Natural biological materials



Natural fibers	AND	Bilayer material
Biomaterials	AND	Double Layer material
Natural biological materials	AND	Bilayer material
Natural materials	AND	Double Layer material
Biomaterials	AND	Bilayer material

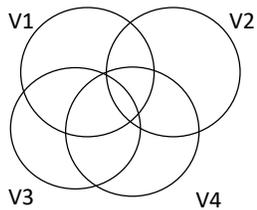


Biomimicry	OR	Bioinspiration
Humidity changes	OR	Hygromorphic
Dimensional changes	OR	Hygromorphic
Natural materials	OR	Biomaterials
Natural materials	OR	Natural biological materials
Bilayer material	OR	Double Layer material



Biomimicry	NOT	Bioinspiration
Hygromorphic	NOT	humidity changes
Natural fibers	NOT	Natural materials
Natural fibers	NOT	Biomaterials

Ecuación de búsqueda avanzada



1	Hygromorphic	AND	Biomimicry
	AND		
2	Biomimicry	AND	Natural fibers
	AND		
3	Hygromorphic	AND	Natural materials
	AND		
4	Dimensional changes	AND	Bioinspiration
	AND		
		NOT	Biomimicry
6	Biomimicry	AND	Wood
		AND	Linen

Captura de datos inicial

Top Autores
 Holstov, A., Bridgens, B., & Farmer, G
 Reyssat, E., & Mahadevan, L
 López, M.
 Pérez Cabrera, D. S. (2019).

Top Revistas
 Construction and Building Materials
 Interface
 Renewable and Sustainable
 Energy Reviews

Top Temas
 Biomimicry
 Hygromorphic
 Natural fibers
 Construction

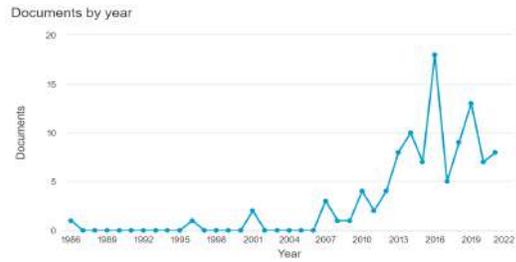
Objetivo: Registrar de forma sistemática el proceso de búsqueda de información

Fase: 5-6

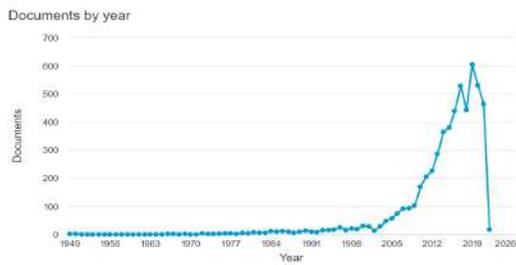
Nombre de la base de datos o recurso de información	Fecha de consulta	Ecuación de búsqueda	Limitadores aplicados	Número de resultados obtenidos	Número de referencias seleccionadas
SCOPUS	18/11/2021	1	AND	48	32
SCOPUS	18/11/2021	2	AND, OR	1,502	73
SCOPUS	18/11/2021	3	AND	30	25
SCOPUS	18/11/2021	4	AND, NOT	35	18
SCOPUS	18/11/2021	5	AND	4	2
		TOTAL			150

LINEAS DE TIEMPO BUSQUEDA

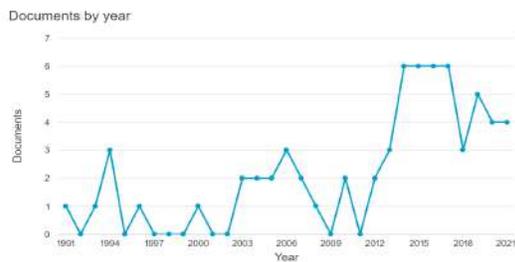
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA 1 **AND**



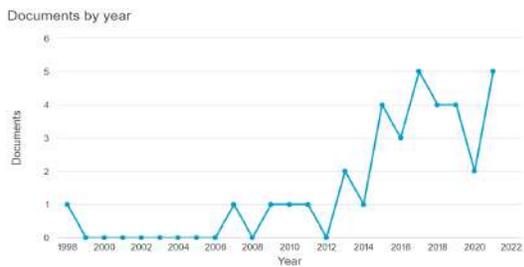
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA 2 **AND** **OR**



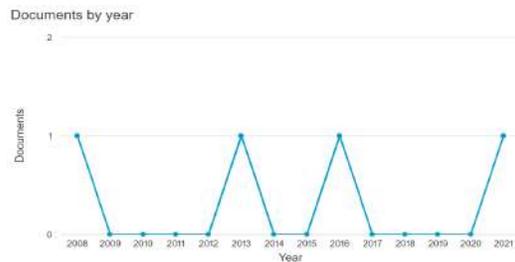
ECUACIÓN DE BÚSQUEDA 3 **AND**



ECUACIÓN DE BÚSQUEDA 4 **AND** **OR**



ECUACIÓN DE BÚSQUEDA 5 **AND** **OR**



B. Anexo: Características fibras naturales vegetales

Anexo B Características fibras naturales vegetales

TIPO DE FIBRA	MATERIA PRIMA	EXTRACCIÓN	VENTAJAS / DESVENTAJAS
<p>FIBRA DE COCO</p>	<p>El coco es una fruta tropical que proviene del cocotero, Cocos Nucifera. Una planta que crece en las costas tropicales de Asia o América, debido a las condiciones climáticas óptimas que se dan en esas áreas, favoreciendo su desarrollo.</p>	<p>La extracción de la fibra de coco se puede realizar de manera artesanal o mediante el uso de maquinaria especial. Primero, los cocos, se recogen manualmente después de haber estado en la planta entre cinco y seis meses. Dependiendo de la maduración de los cocos se pueden recoger dos tipos de fibras. Las fibras marrones, menos flexibles, pero con mayor grosor y resistencia a la abrasión. El proceso para conseguir estas fibras es mediante el empleo de agua dulce. Las fibras claras, se extraen de cocos que aún no están completamente maduros, se trata de fibras más finas y lisas con menor resistencia.</p> <p>El proceso de extracción de la fibra de coco queda recogido en seis etapas.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Recolección de la materia prima. 2. Desfibrado (consiste en separar las fibras que se pueden utilizar de las partes que no). 3. Lavado (proceso en el que se eliminan las sales presentes en las fibras utilizando agua de pH neutro). 4. Secado y desinfección de las fibras, sometiéndolas a altas temperaturas y consiguiendo así un secado más rápido y la total esterilización. 5. Cribado y prensado, dos procesos en los que se consigue separar las fibras por tamaños, para eliminar las no deseadas y también se procede a prensarlas para su futura distribución en el formato deseado. 6. Las fibras se someten a un control exhaustivo para asegurar la calidad del resultado final. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altos niveles de consumo de agua: Tiene una elevada salinidad, por ser cultivado en zonas costeras por lo que es necesario el consumo de agua para su preparación antes de ser adheridas a la mezcla. - Para un uso adecuado es importante tener en cuenta la relación entre la cantidad de fibras añadidas y su longitud.
<p>FIBRA DE YUTE</p>	<p>El yute es una planta herbácea tropical fibrosa conocida como Corchorus Capsularis. Para su cultivo es necesario un clima cálido y húmedo y el terreno debe ser aluvial o arcillo-arenoso. Crece en países subtropicales de Asia y su cultivo no requiere más agua que la de la lluvia.</p>	<p>La planta se encuentra lista para su extracción un mes después de florecer, antes de que los frutos maduren, hecho que se da a los tres o cuatro meses de ser plantado. El proceso para recogerlo es cortar los tallos a la altura del suelo. Cuando se han cortado las plantas se procede a atarlas en haces y se dejan secar. Una vez están secas se eliminan las hojas y se quitan los excesos de ramas. Por último, para completar el proceso de extracción de la fibra se separan las partes leñosas de las fibras de yute, proceso que se tiene que realizar a una temperatura de treinta grados centígrados. Las fibras resultantes tienen entre uno y cuatro metros y se almacenan en balas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La extracción a través de procesos químicos es limitado por el elevado coste de los productos necesarios. - En ambientes húmedos puede desarrollar alguna patología. - El transporte desde las zonas de producción puede ser costoso

TIPO DE FIBRA	MATERIA PRIMA	EXTRACCIÓN	VENTAJAS / DESVENTAJAS
<p>FIBRA DE ALGODÓN</p>	<p>El algodón es la planta que se obtiene de un arbusto de la clase <i>Gossypium</i>. Las zonas en las que está más extendido su cultivo son América Central, Sudamérica.</p> <p>Necesita un clima muy cálido y mucha agua para su cultivo, normalmente no es suficiente con la de la lluvia de las regiones en las que se cultiva, por lo que no es una fibra totalmente sostenible.</p>	<p>El proceso para la obtención de fibras de algodón consiste en varios pasos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La cosecha, normalmente se realiza mecánicamente con maquinaria especializada, aunque todavía hay regiones en las que se continúa recogiendo a mano. 2. El secado, el cual ayuda a facilitar el siguiente proceso. 3. La separación consiste en extraer las fibras del resto de los elementos de la planta como las hojas, tallos y semillas. Antes de generar los hilos, se agrupan las fibras en pacas que se clasifican dependiendo de la longitud de fibra para su posterior venta y distribución. 4. Hilado, <p>Se trata de una fibra compuesta por un gran porcentaje de celulosa por lo que no es un candidato óptimo debido a la gran absorción de agua. Anualmente, grandes cantidades de fibra de algodón se acumulan en todo el mundo sin ningún uso, generando un problema ambiental que puede llegar a suponer una amenaza para la salud. Estos desechos podrían ser utilizados con otros fines.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita un clima muy cálido y mucha agua para su cultivo. Es por ello que al necesitar grandes cantidades de agua por lo que no es una opción ecológica y sostenible. <i>Es una de las fibras naturales menos sostenible por la excesiva cantidad de agua necesaria para su cultivo</i> - Es sensible a microorganismos. - Tiene alta higroscopicidad, cuando se moja la fibra puede llegar a aumentar su volumen hasta un 40%, lo que aumenta el grosor al usarlo en bicapas.
<p>FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR</p>	<p>La caña de azúcar proviene de una planta también conocida como <i>Saccharum officinarum</i>.</p> <p>Para un correcto desarrollo del cultivo la temperatura mínima a la que se debe someter es entre 14°C y 16°C, aunque la temperatura óptima de cultivo se encuentra entre los 32°C y 38°C, no soporta las heladas.</p> <p>Los países con mayor producción son los que, además de tener esas temperaturas durante la mayor parte del año, también tienen una humedad relativa alta. El suelo con mejores cualidades para su plantación es un suelo ligero y preferiblemente sin acidez o cal, ya que podría generar daños en la planta</p>	<p>La recolección de la caña de azúcar para la extracción de su fibra se puede hacer de dos formas: en verde o tras la quema. Pero la forma más común y la que se lleva a cabo es la recolección tras la quema, ya que es más efectiva para obtener una fibra libre de impurezas, pero esta técnica es muy agresiva con el medio ambiente ya que además de liberar gases nocivos a la atmósfera también perjudica la tierra en la que ha sido cultivado.</p> <p>Lo que se necesita obtener es el bagazo de la caña de azúcar, que es el residuo que queda después de la extracción del azúcar de la caña. Actualmente este bagazo es utilizado en algunos países para la producción de papel o papel reciclado. Antes de poder emplear la fibra se debe tratar con un proceso de lavado y secado que elimine las impurezas no deseadas ya que la presencia de azúcar podría ser contraproducente en el hormigón.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - El cultivo de la caña de azúcar necesita tener un especial cuidado en el abono, ya que absorbe los nutrientes del suelo muy rápidamente. - Si la cosecha es después de la quema se produce un gran impacto ambiental.

TIPO DE FIBRA	MATERIA PRIMA	EXTRACCIÓN	VENTAJAS / DESVENTAJAS
FIBRA DE CAÑAMO	<p>La fibra de cañamo se obtiene a partir de la planta de Cannabis Sativa. La producción de cañamo industrial necesita cumplir algunos requisitos que ayuden al desarrollo de los tallos de la planta además de incrementar su altura.</p> <p>Dependiendo de las condiciones de entorno en las que crezca la planta se obtiene una fibra más o menos resistente. Actualmente los usos de la fibra de cañamo son muy amplios, se puede encontrar este material en industrias como la textil, alimentaria y cosmética.</p>	<p>El proceso para extraer la fibra de cañamo consiste en varios pasos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La recolección, se puede realizar de forma mecánica o con maquinaria especializada. Una vez se han cortado las plantas se preparan para el enriado, un proceso mediante el cual se maceran las fibras sumergiéndolas en agua. 2. Secado en el suelo para que se separen, que es un proceso lento. 3. Eliminación del núcleo leñoso del tallo. Si se va a realizar manualmente, es mejor que la planta esté húmeda para facilitar la extracción y después proceder al secado. Sin embargo, si se produce mecánicamente la maquinaria se encarga de ambos procesos de manera simultánea. 4. Una vez las fibras están separadas, se forman fardos y se preparan para su distribución a las distintas industrias que se encargaran de procesarlas de manera que se adapten a las necesidades de sus productos, ya sea creando hilos, tejiendo las fibras o en otros procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita la adición de aditivos para mejorar su trabajabilidad. -El uso de combustibles fósiles de las fibras de cañamo es considerablemente mayor que la de otros tejidos como el algodón. Ya que requiere mayor energía en su producción, lo que a su vez aumenta los costos.
FIBRA DE LINO	<p>La fibra de lino se obtiene a partir de la planta <i>Linum usitatissimum</i>.</p> <p>La calidad más importante de este cultivo son sus semillas, utilizadas en una gran cantidad de industrias y con múltiples fines.</p> <p>En cuanto a las necesidades de abonos especiales, el cultivo de lino no es demasiado exigente, pero si se quiere conseguir una fibra con mejores propiedades, es necesario reforzar los abonos potásicos.</p>	<p>Para obtener la fibra de lino se sigue el siguiente de extracción:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El primer paso después de la recolección, que puede ser manual o mecanizada, es el desgrane. Este proceso consiste en extraer las semillas de la planta y se tiene que realizar de forma mecánica. 2. Se peinan las fibras con la finalidad de separar las fibras cortas de las largas, además de eliminar las posibles impurezas o cualquier otra materia que no sea necesaria. 3. Las fibras largas se juntan en manojos para su posterior secado. 4. Se preparan las fibras para distribución en su estado natural una vez secadas o se pueden continuar procesando extendiendo los manojos en la maquinaria adecuada para conseguir hilos. Este proceso se realiza normalmente en las fábricas de la industria textil que tienen maquinaria especializada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evita la proliferación de bacterias. - Es resistente y duradero. - Su cultivo es más sostenible que el del algodón porque requiere menos agua. - Al ser cultivado en muchos países las emisiones producidas por el transporte son menores. - Es una materia prima abundante. - Una hectárea de este cultivo consume quince toneladas de dióxido de carbono y libera once de oxígeno. <p>Los métodos de obtención de esta fibra, respetan el medio ambiente, al provenir de una fuente renovable y con un crecimiento rápido su consumo se puede producir de una forma consciente y responsable.</p> <p>Su cultivo es fácil y es considerado uno de los que menos perjudica al medio ambiente ya que no necesita herbicidas, pesticidas, ni fertilizante, además, su cultivo tiene una menor necesidad de agua que otras plantaciones de características similares</p>

TIPO DE FIBRA	MATERIA PRIMA	EXTRACCIÓN	VENTAJAS / DESVENTAJAS
<p>FIBRA DE SISAL</p>	<p>La fibra de sisal se puede obtener a partir de la planta de Agave sisalana. Esta planta tiene un periodo de crecimiento que oscila entre los siete y doce años, siendo posible la primera recolección aproximadamente a los dos años.</p> <p>La cantidad de fibra que produce cada planta está directamente relacionada con las condiciones atmosféricas en las que se desarrolla. Los principales países de producción de sisal se encuentran en áreas con climas cálidos y zonas secas, que generalmente, no son aptas para otro tipo de cultivo.</p> <p>Actualmente, la fibra de sisal es utilizada con una gran cantidad de fines, algunos países árabes la utilizan como refuerzo de yeso, la industria textil la utiliza para hacer hilos y con ellos crear cuerdas o elementos decorativos.</p>	<p>La fibra de sisal se extrae de las hojas de la planta.</p> <p>El proceso de extracción de la fibra consiste en una serie de procesos mecánicos. El primero es la recolección de la materia prima que se realiza con máquinas especializadas. Estas máquinas recolectoras también tienen la función de aplastar y raspar las hojas para extraer la fibra.</p> <p>Después, la fibra se lava y se seca, este proceso puede realizarse de manera manual o igual que todo el proceso de extracción, mediante el uso de maquinaria. Por último, se procede al cepillado de la fibra, que se trata de un proceso mecánico.</p>	<p>A nivel industrial, solo se puede encontrar productos para uso no estructural como cordeles, sogas, cuerdas e hilos, se carece de una fibra técnica continua. En el campo de los materiales compuestos, su uso se limita a la fabricación de paneles del tipo laboratorio con fibra continúa elaborada de forma artesanal, estructuras del sector decorativo (dianas) e interior de automóvil fabricado con métodos de inyección de resina y refuerzo de fibra corta.</p>

Fuente: A partir de (Poza, 2019); (Martin, 2020),

C. Anexo: Estudio comparativo fibras naturales vegetales

Anexo C Estudio comparativo fibras naturales vegetales

Para determinar la fibra natural con mejor desempeño, se analizan factores como la cantidad de agua empleada en su cultivo, su origen, el proceso de manufactura, transporte, durabilidad, uso y mantenimiento. Los resultados se extraen al comparar únicamente fibras naturales vegetales entre ellas, pero también se incorporan las dos fibras naturales minerales estudiadas para observar las ventajas que presentan en comparación. A continuación, se muestra una recopilación de la información anteriormente mostrada a partir del trabajo de investigación “*Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón*”

TIPO DE FIBRA	Coco	Yute	Algodón	Caña De Azúcar	Cáñamo	Lino	Sisal
Natural	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Biodegradable	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Durabilidad	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Alta
Consumo De Agua	Medio	Muy Bajo	Muy Alto	Bajo	Bajo	Muy Bajo	Alta
Sostenibilidad en proceso de obtención	Media	Alta	Media	Alta	Alta	Muy Alta	Alta

Fuente: A partir de (Martin, 2020)

La fibra natural con mejores prestaciones sostenibles es la procedente del lino; le siguen la fibra de yute, cáñamo, sisal y caña de azúcar; después la fibra de coco; y por último por el gran consumo de agua durante su producción la fibra de algodón queda en último lugar. Las fibras naturales vegetales tienen una sostenibilidad más elevada que las fibras naturales minerales, ya que sus procesos de obtención son más sostenibles. Además de tener propiedades de sostenibilidad óptimas, el LINO es un cultivo producido en países que se encuentran en vías de desarrollo por lo que un aumento de su consumo ayudaría a esos países a crecer económicamente.

La utilización de materiales provenientes de fuentes renovables y de origen natural para la elaboración de materiales compuestos bicapa, permite la reducción de desechos y residuos, a la vez que ayuda a preservar los recursos no renovables. Además, el Lino presenta una alta durabilidad al ser resistente a plagas, insectos, hongos e incluso la degradación por luz ultravioleta. (Recopilación materiales, s.f.)

Es así que se le apuesta a las fibras de origen natural, como la fibra de Lino ya que “se reconoce cada vez más como un sucedáneo favorable de las fibras sintéticas. Además de las ventajas técnicas y de costos, los productos de fibras naturales ejercen una atracción mayor porque responden a la sensibilización del consumidor respecto a los beneficios ambientales, económicos y socioculturales, lo cual contribuye a fomentar el desarrollo de una agricultura sustentable, al utilizar tecnologías de producción y elaboración de bajo impacto para el medio ambiente y al promover el desarrollo económico local fortaleciendo la participación de los productores en cadenas de valor” (Vidal & Hormazábal, 2016)

D. Anexo: Determinación peso de probetas

DETERMINACIÓN DE ADHESIVO USADO

	SENTIDO	PESO (g)	TIPO DE LINO	PESO (g)	BICAPA	PESO (g)	ADHESIVO (g)
SAPELLI	SA LONG	0.49	LINO 1	0.16	SA+LONG+LINO1+PEG1	0.75	0.10
	SA LONG	0.52	LINO 2	0.145	SA+LONG+LINO2+PEG1	0.755	0.09
	SA TRANS	0.53	LINO 1	0.17	SA+TRANS+LINO1+PEG1	0.78	0.08
	SA TRANS	0.54	LINO 2	0.13	SA+TRANS+LINO2+PEG1	0.78	0.11
	SA LONG	0.52	LINO 1	0.15	SA+LONG+LINO1+PEG2	0.72	0.05
	SA LONG	0.51	LINO 2	0.145	SA+LONG+LINO2+PEG2	0.695	0.04
	SA TRANS	0.48	LINO 1	0.16	SA+TRANS+LINO1+PEG2	0.7	0.06
	SA TRANS	0.52	LINO 2	0.17	SA+TRANS+LINO2+PEG2	0.74	0.05
FLORMORADO	FM LONG	0.54	LINO 1	0.17	FM+LONG+LINO1+PEG1	0.83	0.12
	FM LONG	0.55	LINO 2	0.13	FM+LONG+LINO2+PEG1	0.76	0.08
	FM TRANS	0.58	LINO 1	0.16	FM+TRANS+LINO1+PEG1	0.81	0.07
	FM TRANS	0.57	LINO 2	0.145	FM+TRANS+LINO2+PEG1	0.825	0.11
	FM LONG	0.51	LINO 1	0.16	FM+LONG+LINO1+PEG2	0.73	0.06
	FM LONG	0.52	LINO 2	0.14	FM+LONG+LINO2+PEG2	0.69	0.03
	FM TRANS	0.55	LINO 1	0.17	FM+TRANS+LINO1+PEG2	0.77	0.05
	FM TRANS	0.58	LINO 2	0.12	FM+TRANS+LINO2+PEG2	0.75	0.05
SYCAMORE	SY LONG	0.66	LINO 1	0.16	SY+LONG+LINO1+PEG1	0.93	0.11
	SY LONG	0.68	LINO 2	0.14	SY+LONG+LINO2+PEG1	0.91	0.09
	SY TRANS	0.66	LINO 1	0.15	SY+TRANS+LINO1+PEG1	0.91	0.10
	SY TRANS	0.67	LINO 2	0.125	SY+TRANS+LINO2+PEG1	0.905	0.11
	SY LONG	0.66	LINO 1	0.17	SY+LONG+LINO1+PEG2	0.86	0.03
	SY LONG	0.67	LINO 2	0.14	SY+LONG+LINO2+PEG2	0.83	0.02
	SY TRANS	0.68	LINO 1	0.17	SY+TRANS+LINO1+PEG2	0.89	0.04
	SY TRANS	0.65	LINO 2	0.14	SY+TRANS+LINO2+PEG2	0.84	0.05
PALISANDRO	PA LONG	0.78	LINO 1	0.16	PA+LONG+LINO1+PEG1	1.02	0.08
	PA LONG	0.81	LINO 2	0.13	PA+LONG+LINO2+PEG1	1.05	0.11
	PA TRANS	0.82	LINO 1	0.17	PA+TRANS+LINO1+PEG1	1.09	0.10
	PA TRANS	0.84	LINO 2	0.145	PA+TRANS+LINO2+PEG1	1.065	0.08
	PA LONG	0.81	LINO 1	0.16	PA+LONG+LINO1+PEG2	1.03	0.06
	PA LONG	0.83	LINO 2	0.15	PA+LONG+LINO2+PEG2	1.03	0.05
	PA TRANS	0.82	LINO 1	0.17	PA+TRANS+LINO1+PEG2	1.06	0.07
	PA TRANS	0.84	LINO 2	0.135	PA+TRANS+LINO2+PEG2	1.025	0.05
TECA NATURAL	TN LONG	0.86	LINO 1	0.16	TN+LONG+LINO1+PEG1	1.11	0.09
	TN LONG	0.87	LINO 2	0.135	TN+LONG+LINO2+PEG1	1.115	0.11
	TN TRANS	0.83	LINO 1	0.15	TN+TRANS+LINO1+PEG1	1.06	0.08
	TN TRANS	0.88	LINO 2	0.14	TN+TRANS+LINO2+PEG1	1.13	0.11
	TN LONG	0.86	LINO 1	0.17	TN+LONG+LINO1+PEG2	1.09	0.06
	TN LONG	0.86	LINO 2	0.14	TN+LONG+LINO2+PEG2	1.07	0.07
	TN TRANS	0.87	LINO 1	0.16	TN+TRANS+LINO1+PEG2	1.1	0.07
	TN TRANS	0.88	LINO 2	0.14	TN+TRANS+LINO2+PEG2	1.08	0.06
HAYA	HA LONG	0.75	LINO 1	0.17	HA+LONG+LINO1+PEG1	1.00	0.08
	HA LONG	0.73	LINO 2	0.17	HA+LONG+LINO2+PEG1	0.97	0.07
	HA TRANS	0.74	LINO 1	0.16	HA+TRANS+LINO1+PEG1	0.98	0.08
	HA TRANS	0.76	LINO 2	0.13	HA+TRANS+LINO2+PEG1	0.96	0.07
	HA LONG	0.75	LINO 1	0.16	HA+LONG+LINO1+PEG2	0.93	0.02
	HA LONG	0.77	LINO 2	0.13	HA+LONG+LINO2+PEG2	0.93	0.03
	HA TRANS	0.76	LINO 1	0.16	HA+TRANS+LINO1+PEG2	0.94	0.02
	HA TRANS	0.74	LINO 2	0.13	HA+TRANS+LINO2+PEG2	0.91	0.04

E. Anexo: Registro ensayo combinaciones a humedad constante



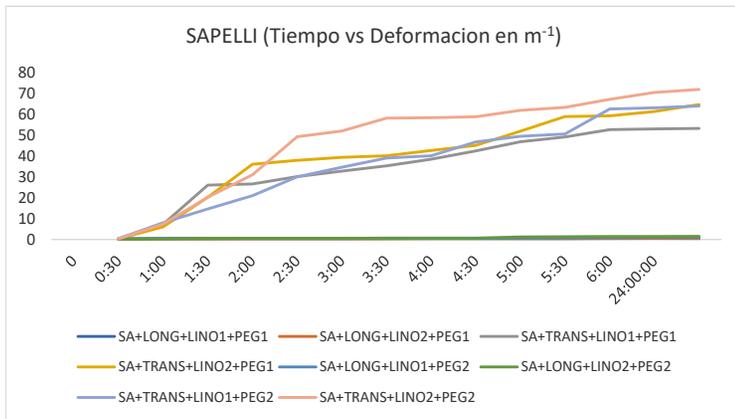
**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE GUADUA Y MADERA
REGISTRO ENSAYO COMBINACIONES A HUMEDAD CONSTANTE**

**CODIGO
VERSION 1.0
PAGINA 1 DE 9**

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SAPELLI	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	11/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)			

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
SA+LONG+LINO1+PEG1	0,1746	0,3967	0,4058	0,4040	0,4125	0,4153	0,4165	0,4343	0,4610	0,4697	0,4847	0,5437	0,5664	0,5595
SA+LONG+LINO2+PEG1	0,1144	0,2831	0,2839	0,2859	0,2863	0,2870	0,2893	0,4343	0,4610	0,4697	0,4847	0,4904	0,5088	0,4411
SA+TRANS+LINO1+PEG1	0,3617	7,2464	26,0838	26,6461	30,0788	32,7570	35,3010	38,4956	42,3926	46,8487	49,0942	52,6676	53,0082	53,2116
SA+TRANS+LINO2+PEG1	0,3095	6,0064	20,2402	36,0032	37,9564	39,3116	40,1233	42,5949	45,0167	51,9068	58,9310	59,2171	61,3685	64,6546
SA+LONG+LINO1+PEG2	0,4031	0,4323	0,4494	0,4706	0,4775	0,4822	0,5222	0,5362	0,5894	0,6482	0,7285	0,8828	0,9535	0,9758
SA+LONG+LINO2+PEG2	0,2742	0,3457	0,5333	0,5562	0,5790	0,5974	0,6199	0,6826	0,6960	1,1872	1,3555	1,4661	1,4813	1,5081
SA+TRANS+LINO1+PEG2	0,4081	8,0000	14,6331	21,0398	29,9886	34,5688	39,0639	40,1332	46,7530	49,4430	50,5842	62,5508	63,0318	63,9537
SA+TRANS+LINO2+PEG2	0,3126	7,3266	20,2402	30,9834	49,2708	52,0351	58,1223	58,3533	58,7751	61,8609	63,3352	67,1727	70,4473	71,9011



	LONG	TRANS
DELAMINACION	NO	NO
UNIFORMIDAD DEFORMACION	SI	SI
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	SI	SI

OBSERVACIONES

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SA+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	11/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPELOR (mm)	0,42	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,304348123
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGANICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPELOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

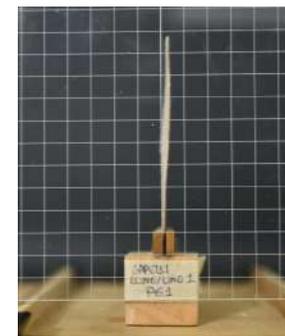
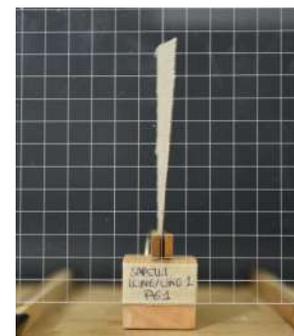
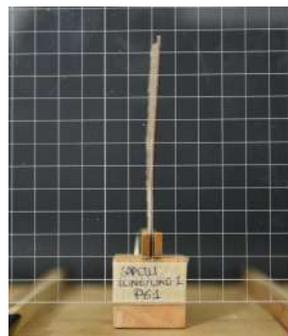
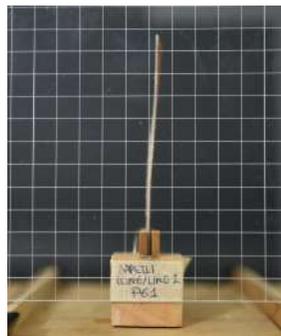
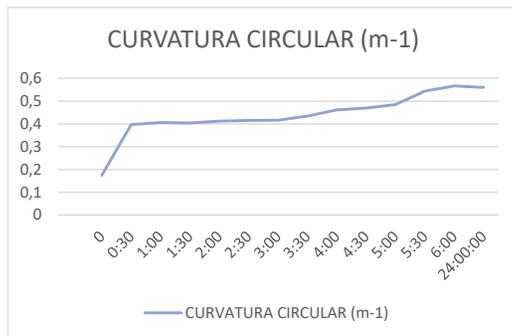
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	5.729	2.521	2.464	2.475	2.424	2.408	2.401	2.303	2.169	2.129	2.063	1.839	1.765	1.787
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,174552	0,396668	0,405844	0,404046	0,412502	0,415299	0,416545	0,434273	0,461016	0,46968	0,484679	0,543737	0,566415	0,559454
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													

0 Horas

3 horas

24 horas

SECADO



OBSERVACIONES

Se presenta una torsión moderada sobre el eje central longitudinal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	11/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPEJOR (mm)	0,42	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,304348123
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

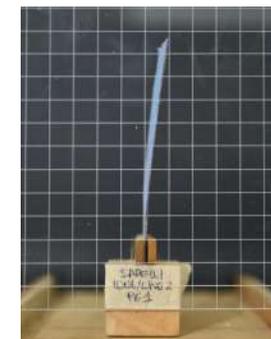
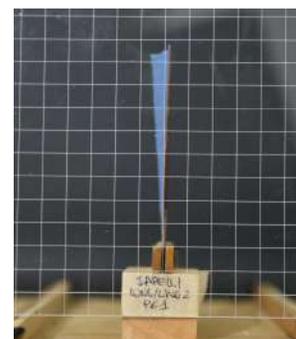
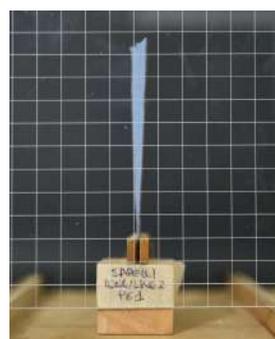
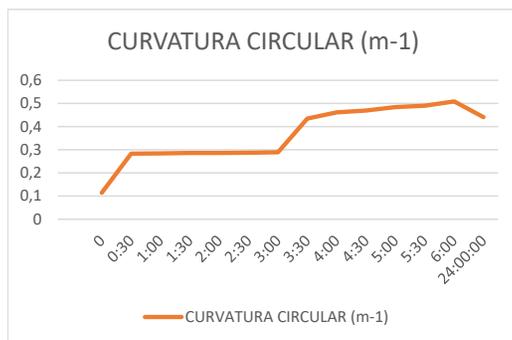
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	8.742	3.532	3.522	3.498	3.493	3.485	3.457	2.303	2.169	2.129	2.063	2.039	1.965	2.267
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,114387	0,2831	0,283904	0,285899	0,286306	0,286963	0,289287	0,434273	0,461016	0,46968	0,484679	0,490407	0,508779	0,441104
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													

0 Horas

3 horas

24 horas

SECADO



OBSERVACIONES

Se presenta una torsión leve sobre el eje central longitudinal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SA+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	11/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEOR (mm)	0,42	INDICE HIGROEXPANSION (α)	6,507616807
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

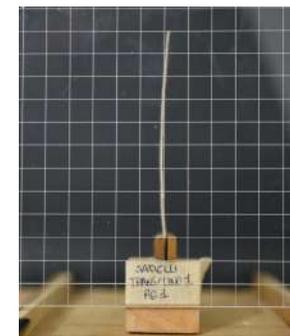
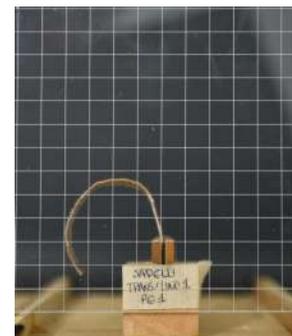
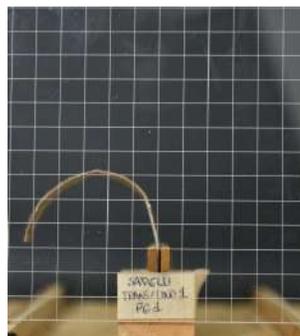
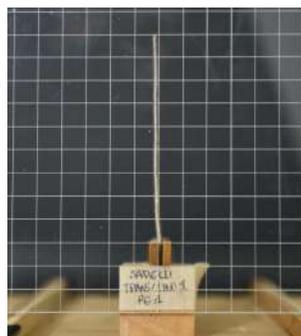
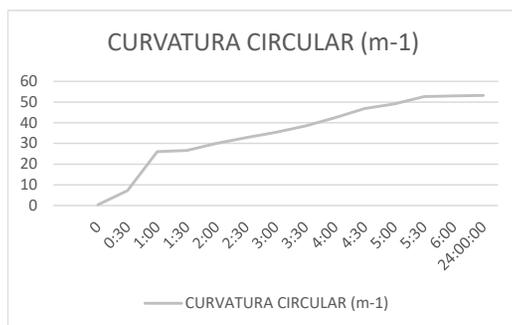
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.765	138	38,34	37,53	33,25	30,53	28,33	25,98	23,59	21,35	20,37	18,99	18,87	18,79
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,361677	7,246377	26,08378	26,64606	30,07881	32,75703	35,30101	38,49559	42,39264	46,84872	49,09421	52,66761	53,00822	53,21159
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													

0 Horas

3 horas

24 horas

SECADO



OBSERVACIONES

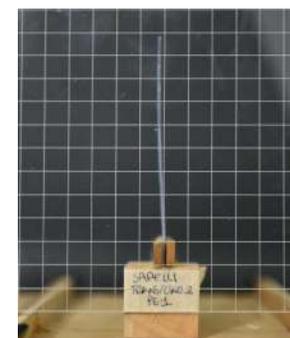
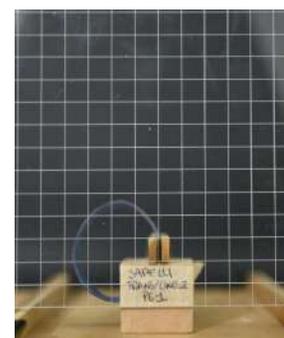
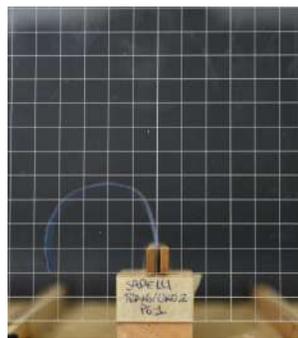
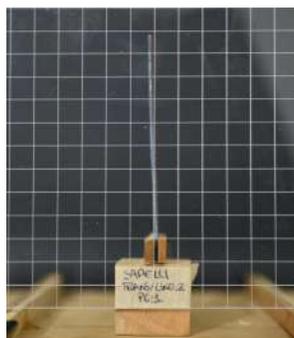
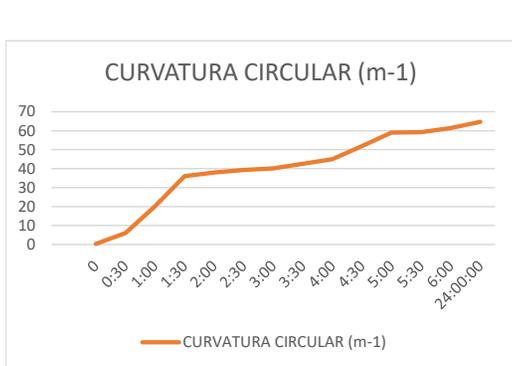
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	11/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPELOR (mm)	0,42	INDICE HIGROEXPANSION (α)	6,507616807
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPELOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	3.231	166,49	49,41	27,78	26,35	25,44	24,92	23,48	22,21	19,27	16,97	16,89	16,30	15,47
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,309471	6,006428	20,24021	36,00321	37,95643	39,31158	40,12326	42,59488	45,01666	51,9068	58,93099	59,21715	61,36852	64,65462
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SA+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	11/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPEJOR (mm)	0,42	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,304348123
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

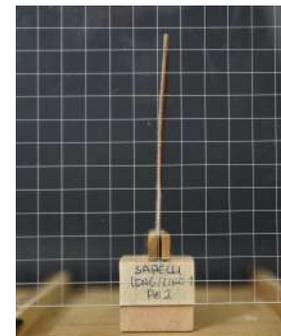
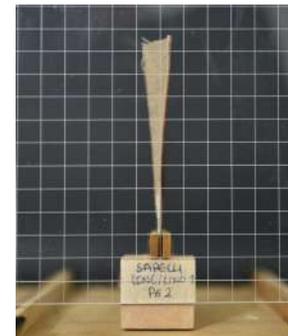
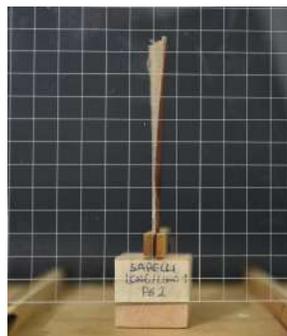
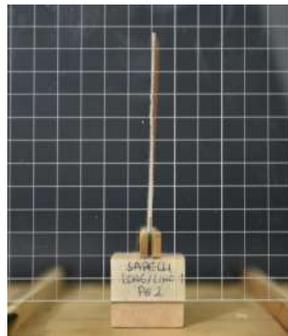
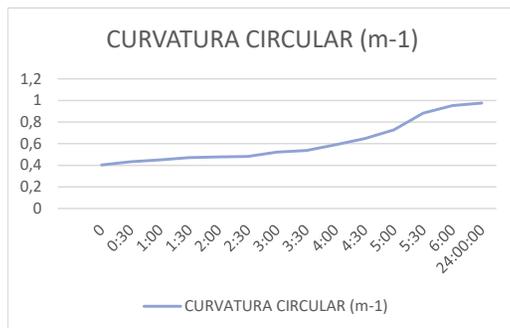
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.481	2.313	2.225	2.125	2.094	2.074	1.915	1.865	1.697	1.543	1.373	1.133	1.049	1.025
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,403087	0,432346	0,449446	0,470596	0,477502	0,482183	0,52218	0,536179	0,589362	0,648194	0,728465	0,882808	0,953517	0,975849
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													

0 Horas

3 horas

24 horas

SECADO



OBSERVACIONES

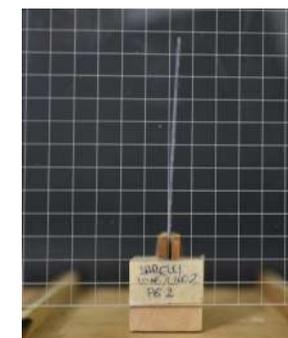
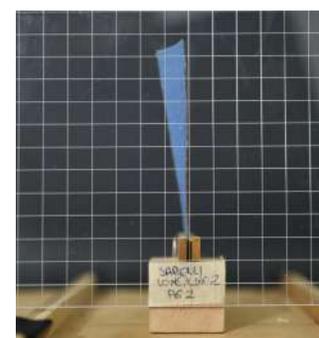
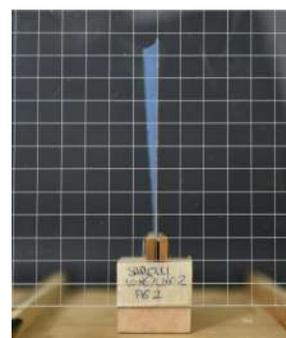
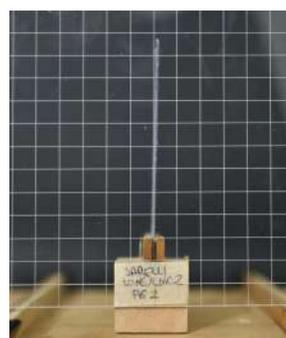
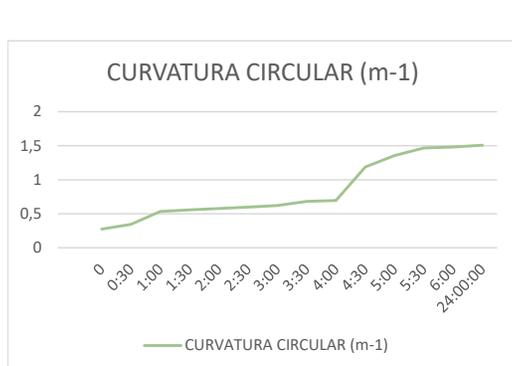
Se presenta una torsión de mas de 45° sobre el eje central longitudinal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SA+LINO2+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	11/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,42	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,304348123
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	3.646	2.893	1.875	1.798	1.727	1.674	1.613	1.465	1.437	842,32	737,75	682,07	675,08	663,08
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,274237	0,345666	0,533344	0,556185	0,578961	0,597407	0,619896	0,682572	0,696016	1,187199	1,355475	1,466131	1,481312	1,50812
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES
Se presenta una torsión de mas de 45° sobre el eje central longitudinal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SA+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	11/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEOR (mm)	0,42	INDICE HIGROEXPANSION (α)	6,507616807
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

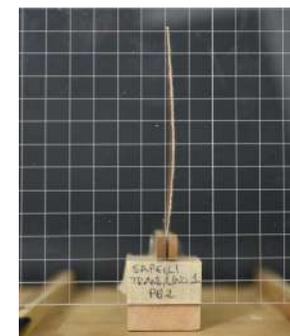
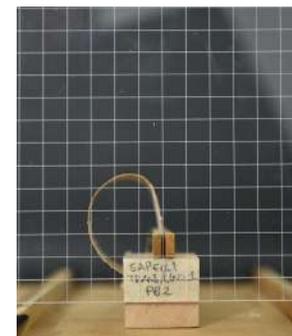
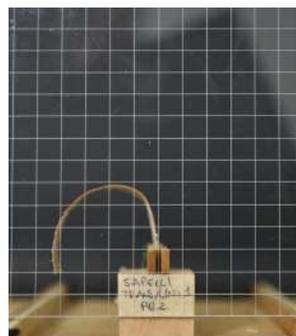
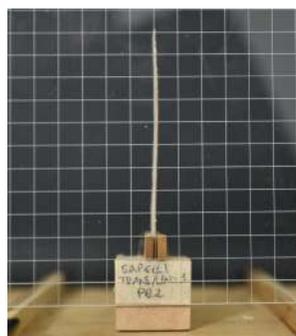
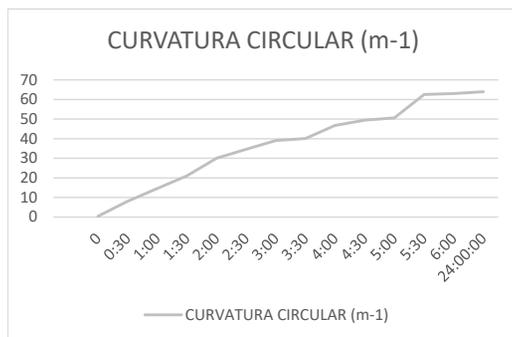
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.450	125,00	68,34	47,53	33,35	28,93	25,60	24,92	21,39	20,23	19,77	15,99	15,87	15,64
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,408105	8	14,63315	21,03979	29,9886	34,56882	39,06387	40,13324	46,753	49,44302	50,58425	62,55082	63,03183	63,95375
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													

0 Horas

3 horas

24 horas

SECADO



OBSERVACIONES

Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que se ve restringida por la base

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	11/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	SAPELLI	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,42	INDICE HIGROEXPANSION (α)	6,507616807
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

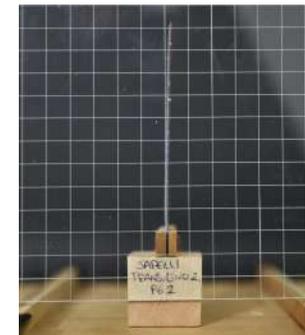
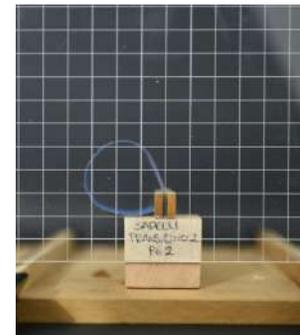
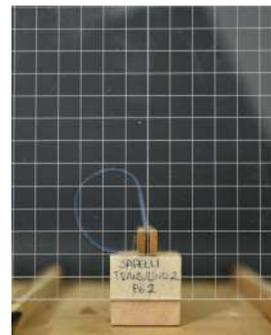
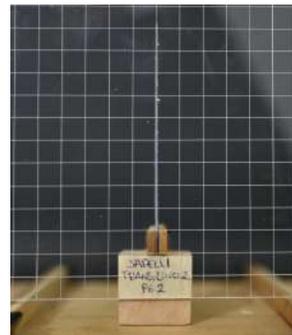
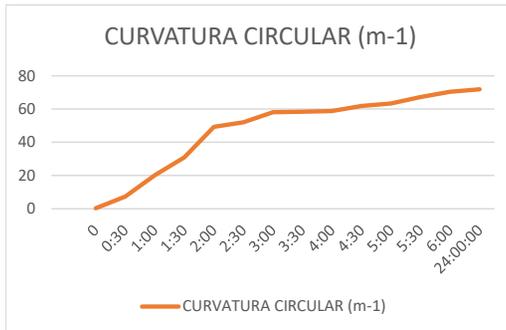
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	3.198	136,49	49,41	32,28	20,30	19,22	17,21	17,14	17,01	16,17	15,79	14,89	14,20	13,91
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,312647	7,326635	20,24021	30,98345	49,27079	52,03509	58,1223	58,35327	58,77513	61,8609	63,33523	67,1727	70,44734	71,90106
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													

0 Horas

3 horas

24 horas

SECADO



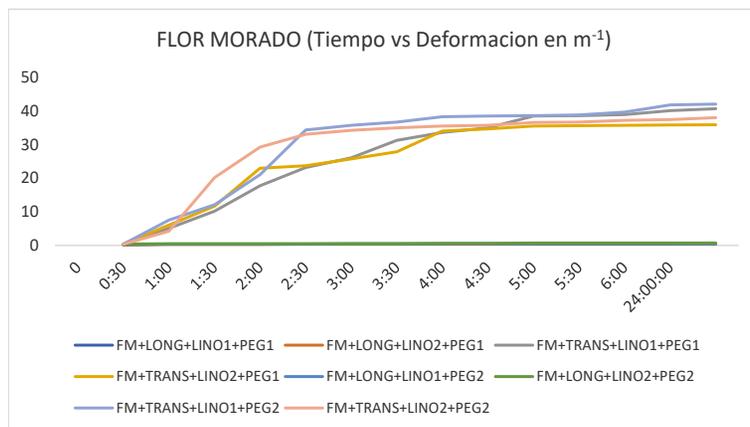
OBSERVACIONES

Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro casi total

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	FLOR MORADO	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)			

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
FM+LONG+LINO1+PEG1	0,1824	0,3364	0,3410	0,3423	0,3433	0,3457	0,3549	0,3656	0,3805	0,3879	0,3951	0,4168	0,4259	0,4286
FM+LONG+LINO2+PEG1	0,1741	0,3054	0,3150	0,3211	0,3350	0,3362	0,3427	0,3809	0,4021	0,4473	0,4548	0,4557	0,4682	0,4709
FM+TRANS+LINO1+PEG1	0,2450	5,0419	10,1690	17,6900	23,1235	26,0839	31,3069	33,6055	34,9785	38,5426	38,6563	38,9302	40,1365	40,6850
FM+TRANS+LINO2+PEG1	0,4208	6,0064	11,7087	23,0016	23,7270	25,6820	27,8092	34,0402	34,7054	35,5695	35,6265	35,7309	35,8230	35,8954
FM+LONG+LINO1+PEG2	0,2453	0,3672	0,3824	0,3960	0,4359	0,4517	0,4587	0,4632	0,4689	0,4726	0,4783	0,4799	0,4811	0,4840
FM+LONG+LINO2+PEG2	0,3965	0,4968	0,5063	0,5198	0,5274	0,5342	0,5441	0,6042	0,6306	0,6711	0,6797	0,6881	0,6933	0,7123
FM+TRANS+LINO1+PEG2	0,3733	7,5110	12,1451	21,0398	34,3100	35,7171	36,6710	38,2892	38,4778	38,5724	38,8063	39,7030	41,8498	42,0543
FM+TRANS+LINO2+PEG2	0,3352	4,2285	20,2402	29,2609	33,1170	34,2257	35,0389	35,5404	35,6964	36,5961	36,7255	37,1927	37,4602	38,0140



	LONG	TRANS
DELAMINACION	NO	SI
UNIFORMIDAD		
DEFORMACION	SI	SI
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	SI	SI

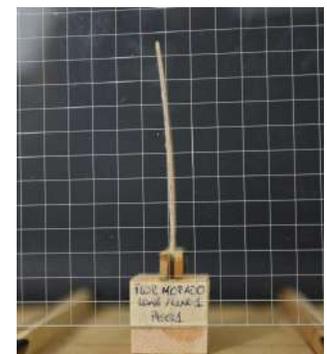
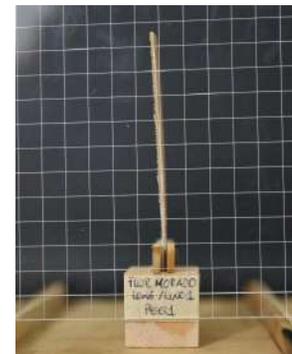
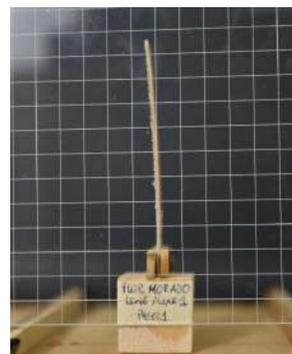
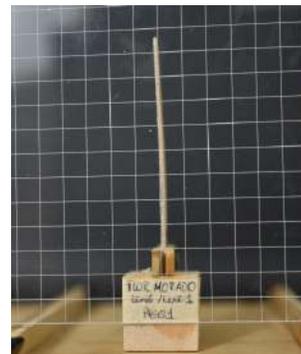
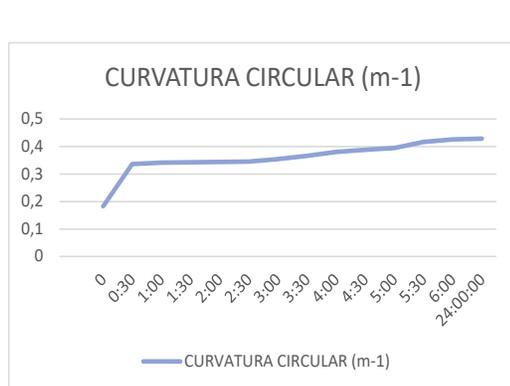
OBSERVACIONES

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	FM+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,66	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,2426439465
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGANICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	5.482	2.972	2.932	2.921	2.913	2.892	2.818	2.735	2.628	2.578	2.531	2.399	2.348	2.333
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,182403	0,336432	0,341021	0,342295	0,343269	0,345726	0,354856	0,365625	0,380512	0,387891	0,395063	0,416833	0,425887	0,428631
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

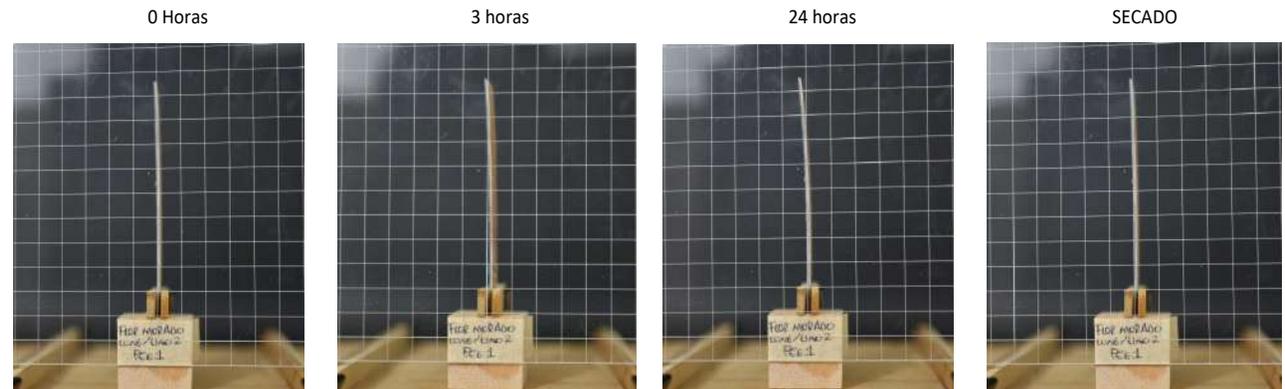
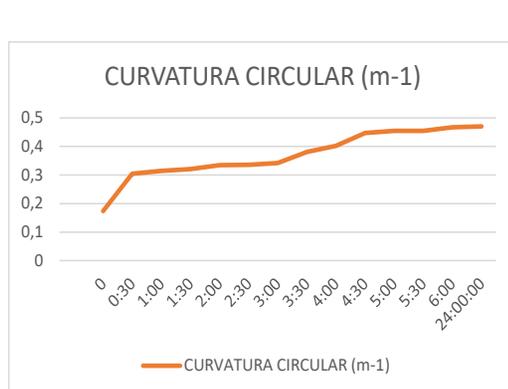
Se presenta una torsión leve sobre el eje central longitudinal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	FM+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,66	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,2426439465
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	5.742	3.275	3.175	3.115	2.985	2.975	2.918	2.626	2.487	2.236	2.199	2.195	2.136	2.124
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,174147	0,305365	0,314984	0,321051	0,335035	0,336161	0,342731	0,380856	0,402146	0,447295	0,454822	0,455651	0,468239	0,470885
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACION COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES
Se presenta una torsión leve sobre el eje central longitudinal



**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE GUADUA Y MADERA
REGISTRO ENSAYO COMBINACIONES A HUMEDAD CONSTANTE**

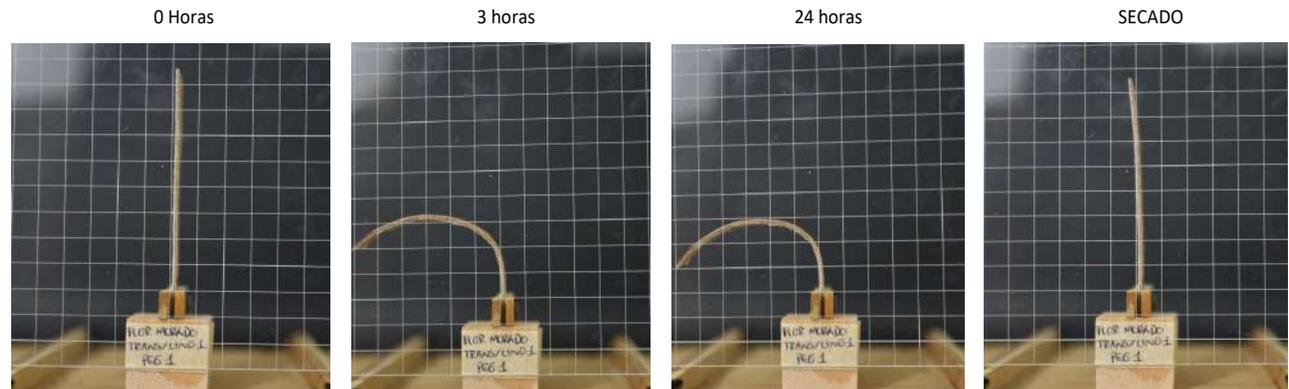
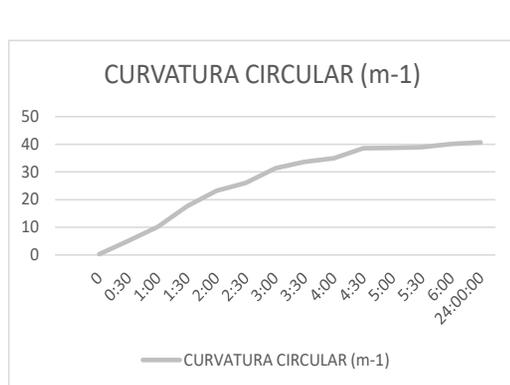
**CODIGO
VERSION 1.0
PAGINA 4 DE 9**

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	FM+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,66	INDICE HIGROEXPANSION (α)	3,113965218
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	4.082	198,34	98,34	56,53	43,25	38,34	31,94	29,76	28,59	25,95	25,87	25,69	24,92	24,58
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,245008	5,041898	10,16901	17,69004	23,12353	26,08392	31,30694	33,60554	34,97849	38,54263	38,65631	38,9302	40,13646	40,68497
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



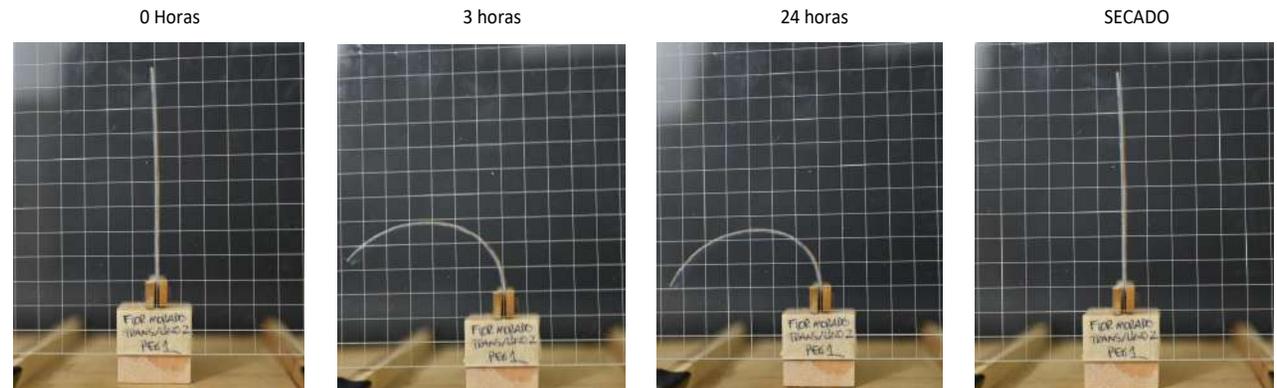
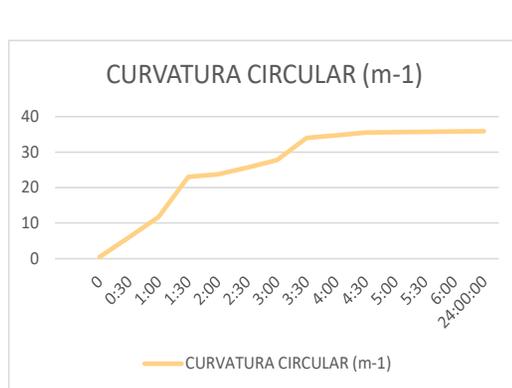
OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	FM+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,66	INDICE HIGROEXPANSION (α)	3,113965218
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.376	166,49	85,41	43,48	42,15	38,94	35,96	29,38	28,81	28,11	28,07	27,99	27,92	27,86
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,42085	6,006428	11,7087	23,00157	23,72704	25,68199	27,80922	34,04024	34,70535	35,56947	35,62649	35,73088	35,82303	35,89543
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



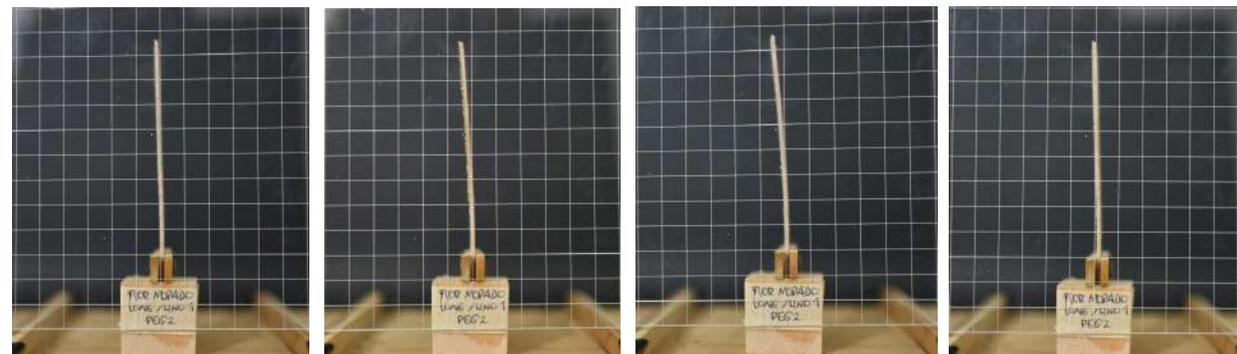
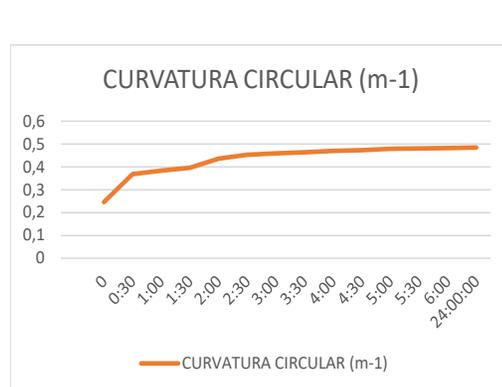
OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	FM+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,66	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,2426439465
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	4.076	2.723	2.615	2.525	2.294	2.214	2.180	2.159	2.133	2.116	2.091	2.084	2.079	2.066
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,245318	0,367247	0,382415	0,396045	0,435876	0,451691	0,458688	0,463231	0,468878	0,472646	0,478297	0,479904	0,481059	0,484025
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES
No presenta una torsión leve sobre el eje central longitudinal



**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE GUADUA Y MADERA
REGISTRO ENSAYO COMBINACIONES A HUMEDAD CONSTANTE**

**CODIGO
VERSION 1.0
PAGINA 7 DE 9**

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	FM+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,66	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,2426439465
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

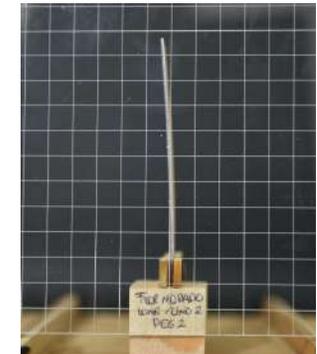
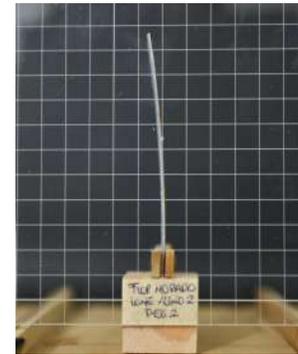
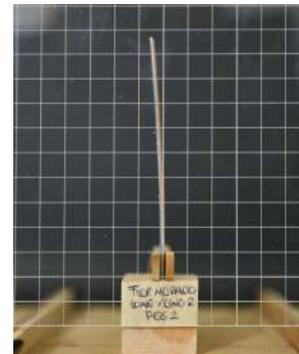
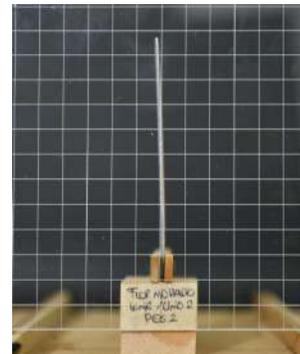
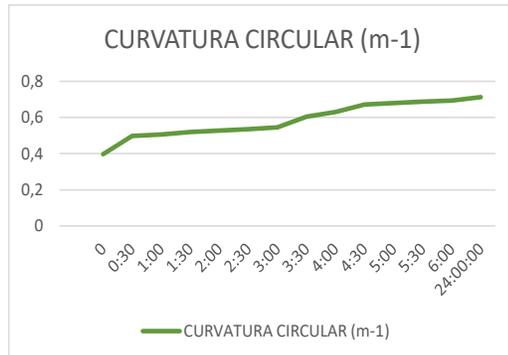
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.522	2.013	1.975	1.924	1.896	1.872	1.838	1.655	1.586	1.490	1.471	1.453	1.442	1.404
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,396496	0,49678	0,506339	0,519761	0,527361	0,534216	0,544084	0,604212	0,630617	0,671141	0,679685	0,688128	0,693328	0,712269
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													

0 Horas

3 horas

24 horas

SECADO



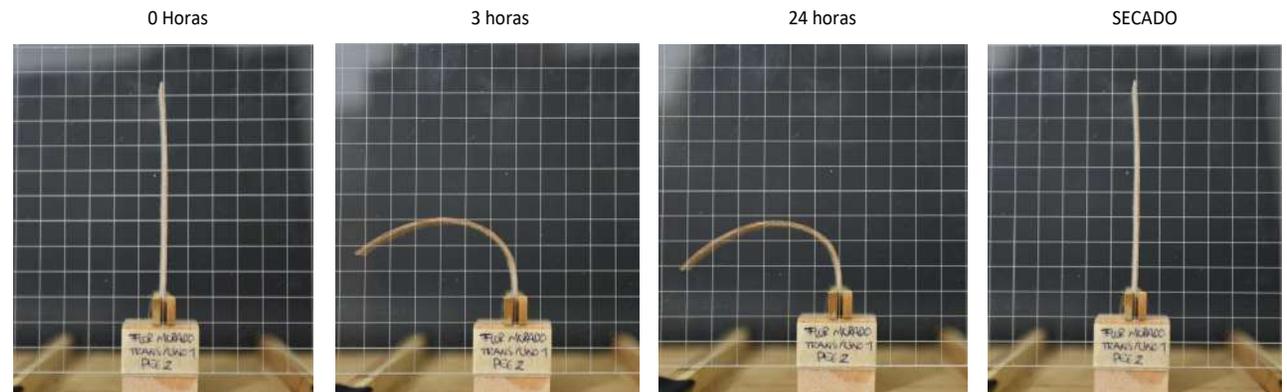
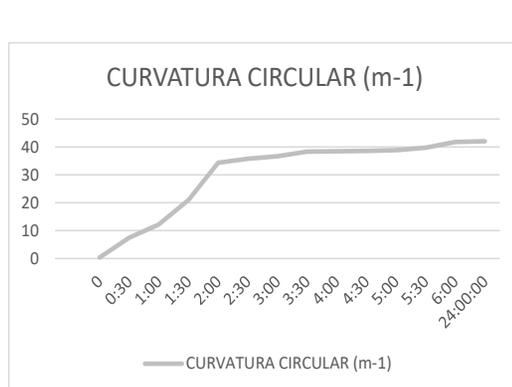
OBSERVACIONES
Leva a una leve torsión

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	FM+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,66	INDICE HIGROEXPANSION (α)	3,113965218
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.679	133,14	82,34	47,53	29,15	28,00	27,27	26,12	25,99	25,93	25,77	25,19	23,90	23,78
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,373294	7,511004	12,14506	21,03979	34,31003	35,71709	36,67101	38,28924	38,47782	38,57236	38,80632	39,70302	41,84976	42,05427
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, con un amunto elevado despues de las 2:00



**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE GUADUA Y MADERA
REGISTRO ENSAYO COMBINACIONES A HUMEDAD CONSTANTE**

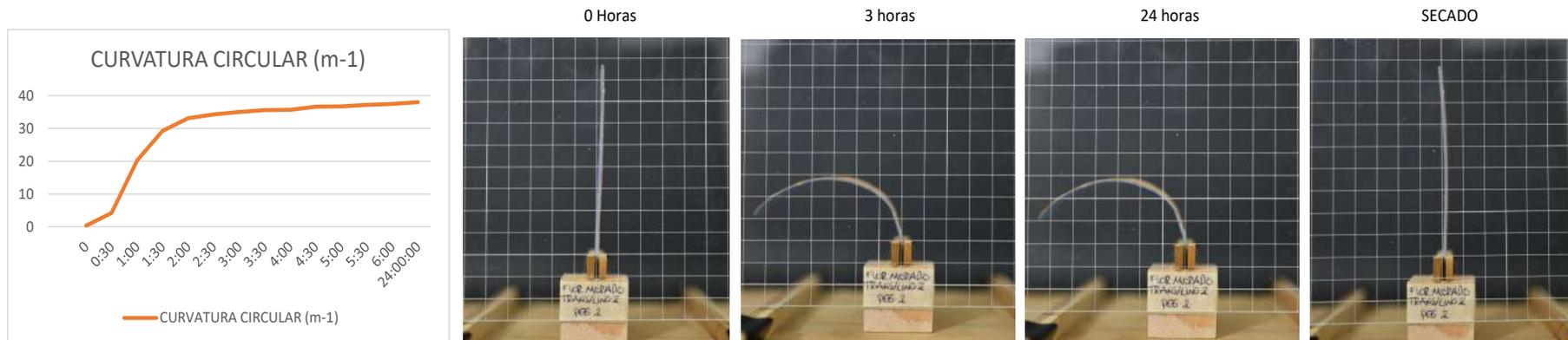
**CODIGO
VERSION 1.0
PAGINA 9 DE 9**

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	FM+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	FLOR MORADO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,66	INDICE HIGROEXPANSION (α)	3,113965218
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.984	236,49	49,41	34,18	30,20	29,22	28,54	28,14	28,01	27,33	27,23	26,89	26,70	26,31
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,335176	4,228539	20,24021	29,2609	33,11697	34,22571	35,03891	35,54039	35,69644	36,59612	36,72555	37,1927	37,4602	38,014
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, con un amunto elevado despues de las 0:30



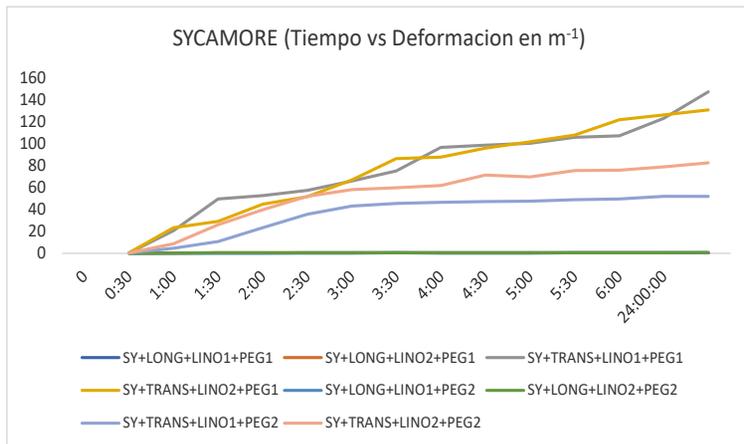
**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE GUADUA Y MADERA
REGISTRO ENSAYO COMBINACIONES A HUMEDAD CONSTANTE**

**CODIGO
VERSION 1.0
PAGINA 1 DE 9**

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SYCAMORE	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)			

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
SY+LONG+LINO1+PEG1	0,1482	0,3399	0,3445	0,3557	0,3672	0,3809	0,3931	0,3656	0,3805	0,3879	0,3951	0,4168	0,4259	0,4647
SY+LONG+LINO2+PEG1	0,1571	0,3211	0,3899	0,4302	0,4396	0,4554	0,4612	0,4961	0,5034	0,5366	0,5380	0,5572	0,5606	0,5726
SY+TRANS+LINO1+PEG1	0,3322	20,7305	49,6574	52,8290	57,5838	66,0598	75,1349	96,6464	98,8240	100,5500	105,9434	107,2156	123,2286	147,3492
SY+TRANS+LINO2+PEG1	0,4703	23,5359	29,2341	44,6921	51,7706	66,9443	86,5501	87,8966	95,8405	101,8953	107,8865	121,6989	126,1830	130,8489
SY+LONG+LINO1+PEG2	0,1293	0,3410	0,3540	0,3827	0,4325	0,4533	0,4509	0,4961	0,5111	0,5247	0,5283	0,5430	0,5516	0,5627
SY+LONG+LINO2+PEG2	0,1173	0,3319	0,6079	0,6317	0,6613	0,6883	0,6954	0,6431	0,6576	0,6680	0,6972	0,7086	0,7151	0,7542
SY+TRANS+LINO1+PEG2	0,4126	4,7318	10,8298	23,5134	35,5417	43,2567	45,5778	46,6919	47,3283	47,5617	48,8067	49,7834	51,8807	51,9796
SY+TRANS+LINO2+PEG2	0,3978	8,5846	26,0372	39,7215	52,0942	58,0794	59,9434	61,8927	71,3572	69,8066	75,5915	75,8323	78,7712	82,5539



	LONG	TRANS
DELAMINACION	SI	SI
UNIFORMIDAD DEFORMACION	SI	SI
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	SI	SI

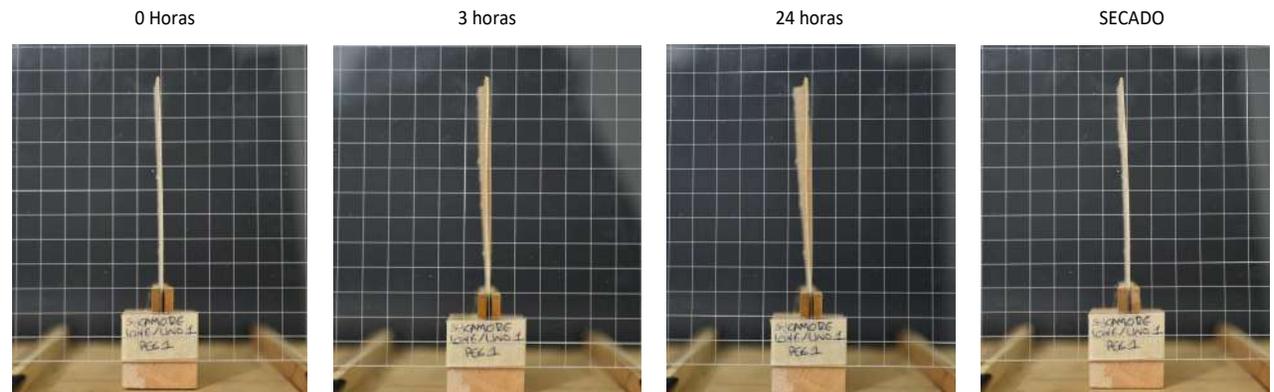
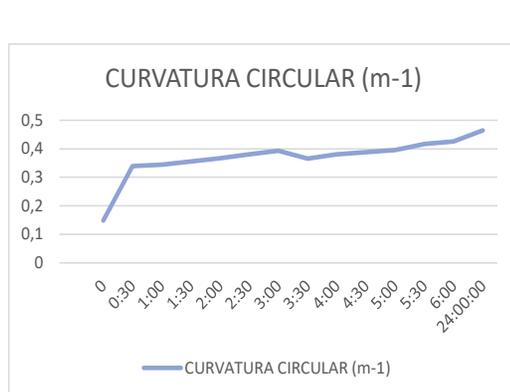
OBSERVACIONES

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SY+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,3080443762
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGANICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	6.749	2.942	2.902	2.811	2.723	2.625	2.544	2.735	2.628	2.578	2.531	2.399	2.348	2.152
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,148168	0,339862	0,344546	0,355687	0,36722	0,380885	0,393086	0,365625	0,380512	0,387891	0,395063	0,416833	0,425887	0,464675
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

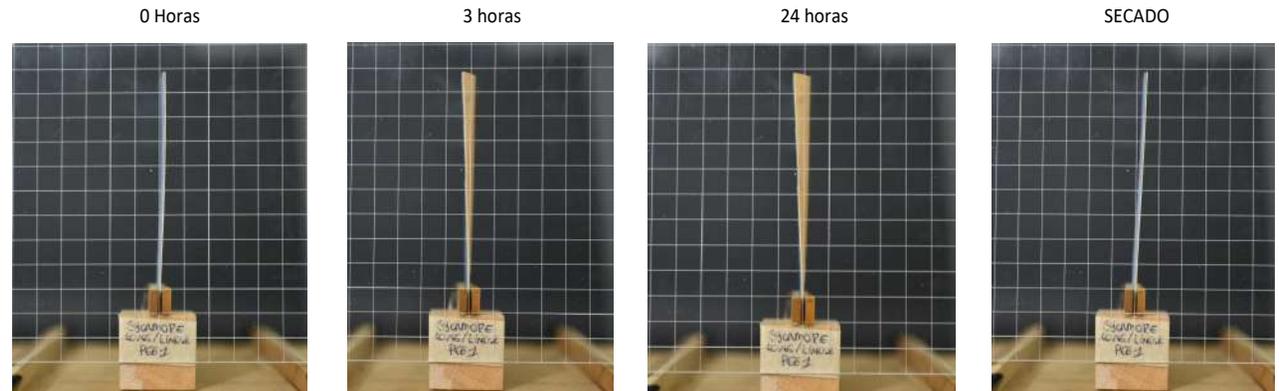
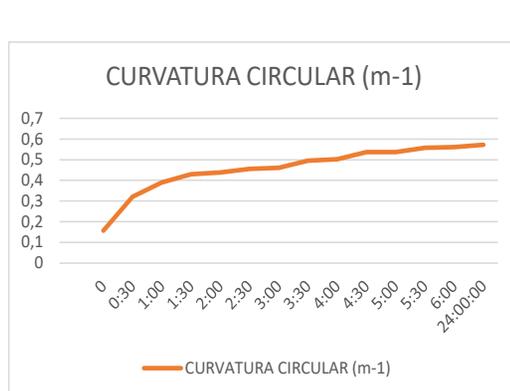
Se presenta una torsión moderada sobre el eje central longitudinal, con lamayor deformación respecto a su estado inicial a las 0:30

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SY+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,3080443762
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	6.365	3.115	2.565	2.325	2.275	2.196	2.168	2.016	1.987	1.864	1.859	1.795	1.784	1.747
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,157109	0,321051	0,389899	0,430151	0,439606	0,455422	0,461194	0,496115	0,503357	0,536578	0,538021	0,557208	0,560644	0,572557
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

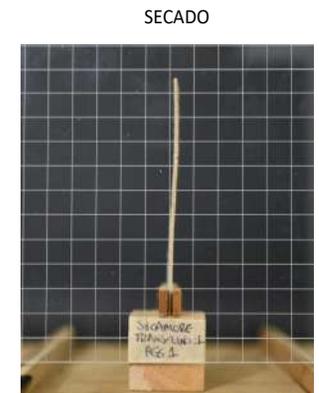
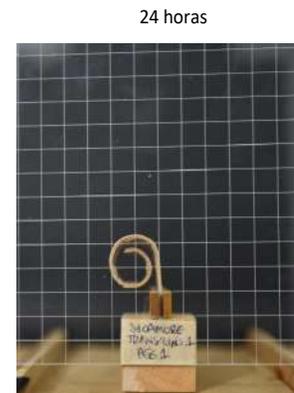
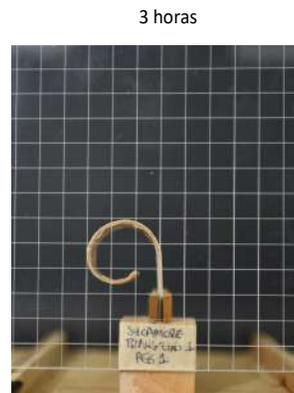
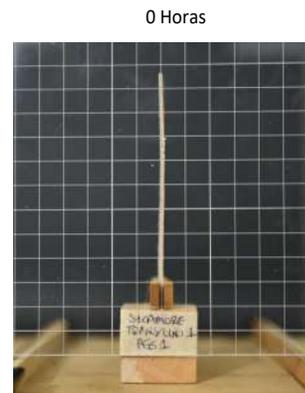
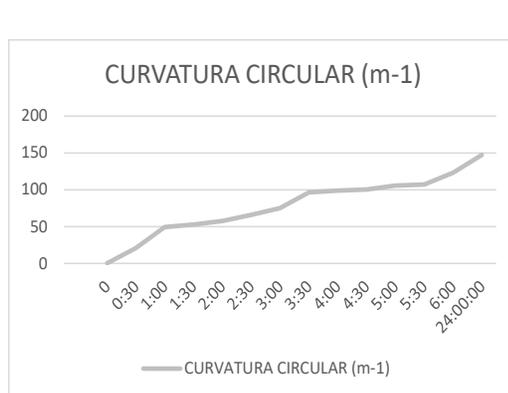
Se presenta una torsión moderada sobre el eje central longitudinal, con lamayor deformación respecto a su estado inicial antes de 0:30

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SY+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	10,064018802
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	3.010	48,24	20,14	18,93	17,37	15,14	13,31	10,35	10,12	9,95	9,44	9,33	8,12	6,79
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,332183	20,73054	49,65736	52,82899	57,58378	66,0598	75,13487	96,64637	98,82399	100,55	105,9434	107,2156	123,2286	147,3492
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro más allá de 360°, creando una espiral



**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE GUADUA Y MADERA
REGISTRO ENSAYO COMBINACIONES A HUMEDAD CONSTANTE**

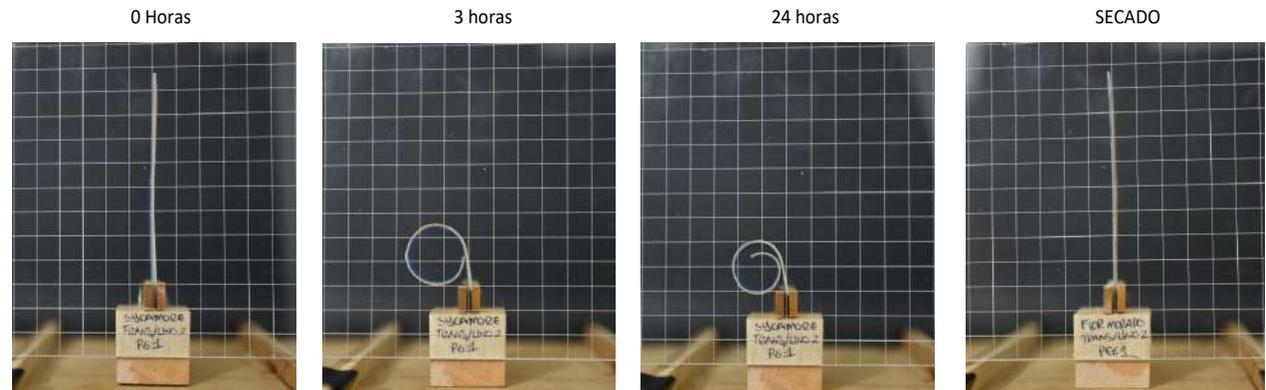
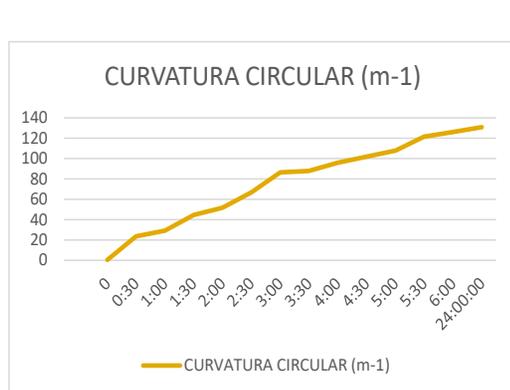
**CODIGO
VERSION 1.0
PAGINA 5 DE 9**

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SY+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	10,064018802
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.126	42,49	34,21	22,38	19,32	14,94	11,55	11,38	10,43	9,81	9,27	8,22	7,93	7,64
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,470335	23,53589	29,23412	44,69214	51,77055	66,94426	86,55011	87,89663	95,84052	101,8953	107,8865	121,6989	126,183	130,8489
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

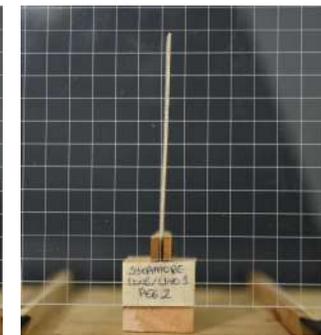
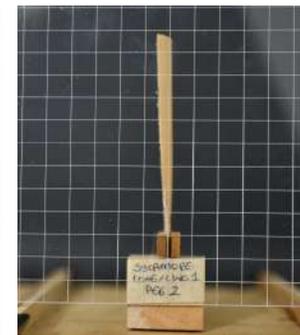
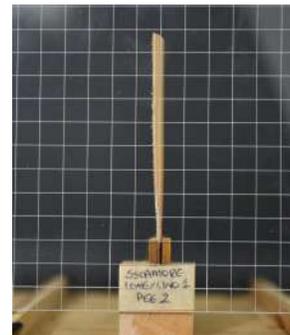
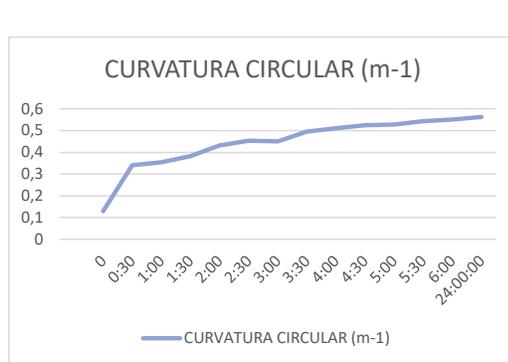
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro más allá de 360°, creando una espiral

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SY+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,3080443762
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	7.734	2.933	2.825	2.613	2.312	2.206	2.218	2.016	1.957	1.906	1.893	1.842	1.813	1.777
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,129296	0,340952	0,353987	0,382707	0,432482	0,453329	0,450941	0,496094	0,511052	0,524728	0,528332	0,542962	0,551648	0,562743
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

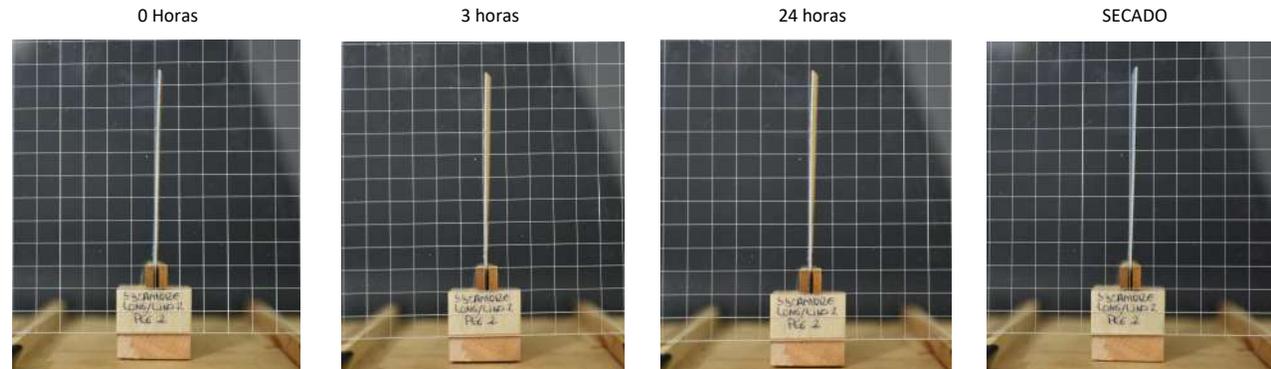
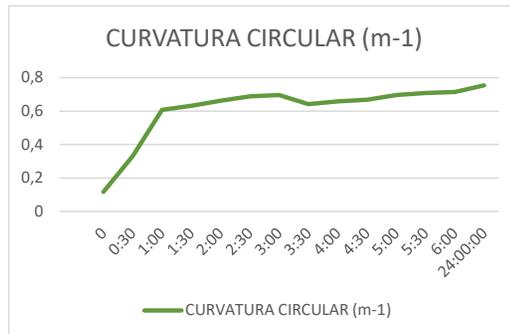
Se presenta una torsión moderada sobre el eje central longitudinal, con lamayor deformación respecto a su estado inicial antes de 0:30

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SY+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,3080443762
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	8.522	3.013	1.645	1.583	1.512	1.453	1.438	1.555	1.521	1.497	1.434	1.411	1.398	1.326
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,117342	0,331899	0,607916	0,631727	0,661274	0,688278	0,695434	0,643067	0,657571	0,668003	0,697219	0,708607	0,715144	0,754168
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

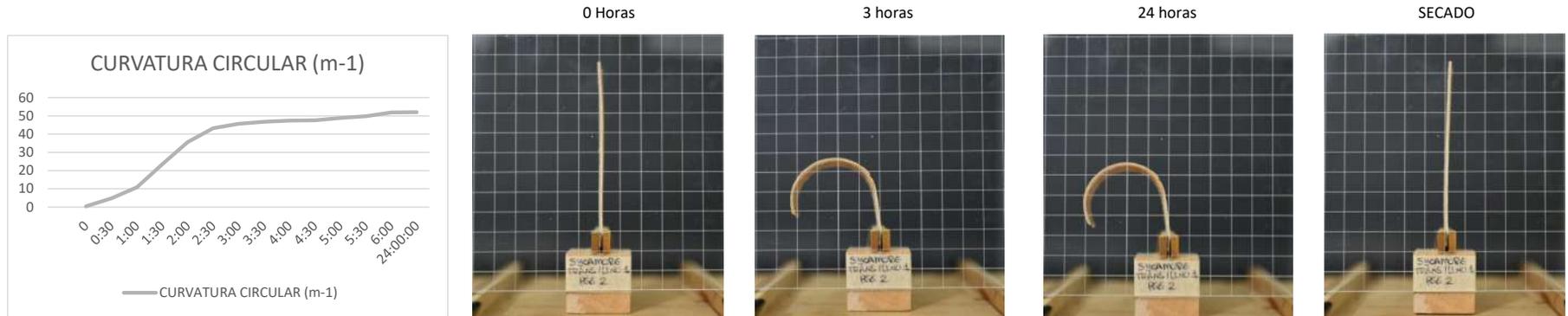
Se presenta una torsión moderada sobre el eje central longitudinal, con lamayor deformación respecto a su estado inicial antes de 0:30

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SY+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	10,064018802
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2,424	211,34	92,34	42,53	28,14	23,12	21,94	21,42	21,13	21,03	20,49	20,09	19,28	19,24
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,412566	4,731757	10,82978	23,51337	35,54165	43,25671	45,57781	46,69188	47,32832	47,56175	48,80668	49,78344	51,88067	51,97964
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



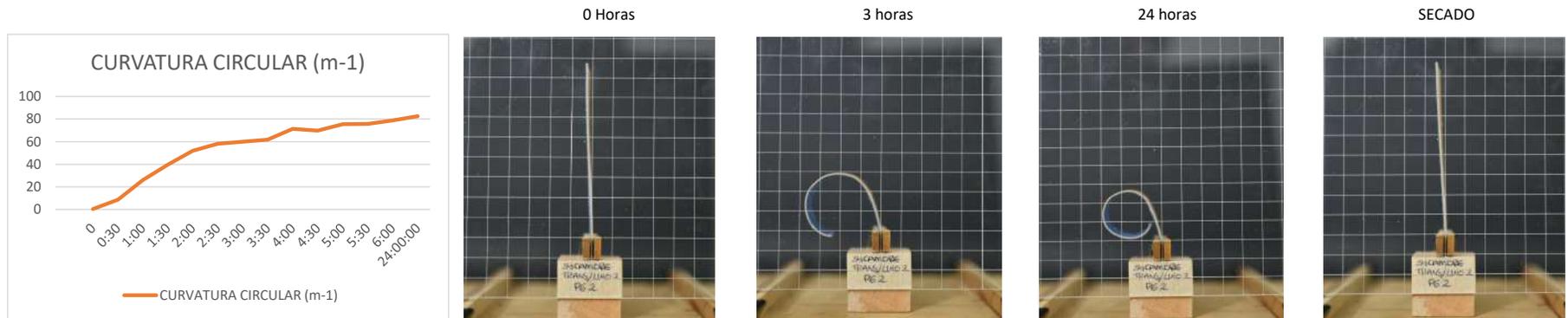
OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro uniforme aprox 360°

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SY+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	SYCAMORE	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	10,064018802
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.514	116,49	38,41	25,18	19,20	17,22	16,68	16,16	14,01	14,33	13,23	13,19	12,70	12,11
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,39785	8,584553	26,03719	39,72147	52,09419	58,07943	59,94341	61,89268	71,35721	69,80657	75,5915	75,83226	78,77117	82,55389
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACION LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro uniforme más allá de 360°



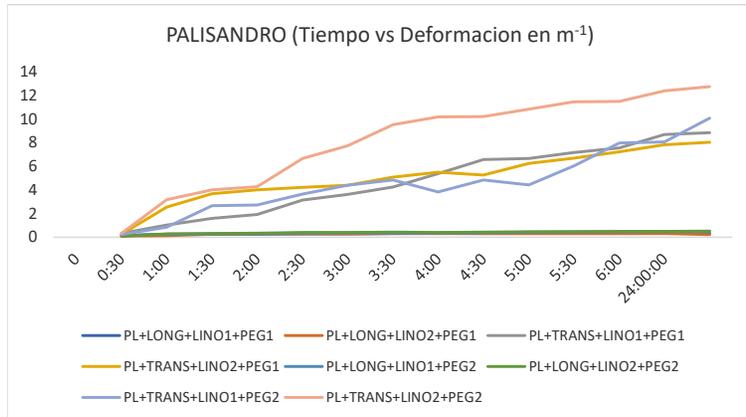
**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE GUADUA Y MADERA
REGISTRO ENSAYO COMBINACIONES A HUMEDAD CONSTANTE**

**CODIGO
VERSION 1.0
PAGINA 1 DE 9**

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	PALISANDRO	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	17/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)			

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
PL+LONG+LINO1+PEG1	0,1174	0,2437	0,2557	0,2694	0,2824	0,3019	0,3110	0,3125	0,3155	0,3214	0,3254	0,3265	0,3280	0,3280
PL+LONG+LINO2+PEG1	0,1048	0,1386	0,2529	0,2790	0,2782	0,2861	0,3156	0,3348	0,3174	0,3214	0,3300	0,3297	0,3305	0,2412
PL+TRANS+LINO1+PEG1	0,3322	1,0222	1,6125	1,9270	3,1509	3,6345	4,2380	5,3953	6,5738	6,6691	7,1716	7,5570	8,6870	8,8509
PL+TRANS+LINO2+PEG1	0,2547	2,5478	3,6737	4,0100	4,2316	4,4065	5,0799	5,5134	5,2512	6,2573	6,6993	7,2350	7,8171	8,0385
PL+LONG+LINO1+PEG2	0,1646	0,2686	0,2928	0,3200	0,3340	0,3826	0,3460	0,3638	0,3902	0,4493	0,4565	0,4605	0,4846	0,4628
PL+LONG+LINO2+PEG2	0,1095	0,2847	0,3210	0,3373	0,4009	0,4172	0,4328	0,4131	0,4345	0,4517	0,4756	0,4971	0,5092	0,5234
PL+TRANS+LINO1+PEG2	0,2337	0,8483	2,6857	2,7209	3,6609	4,4015	4,8468	3,8444	4,8546	4,4420	6,0303	7,9880	8,0714	10,0812
PL+TRANS+LINO2+PEG2	0,3352	3,1697	4,0095	4,2703	6,6580	7,7389	9,5239	10,1898	10,2026	10,8313	11,4772	11,5092	12,3923	12,7479



	LONG	TRANS
DELAMINACION	NO	SI
UNIFORMIDAD DEFORMACION	SI	SI
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	SI	SI

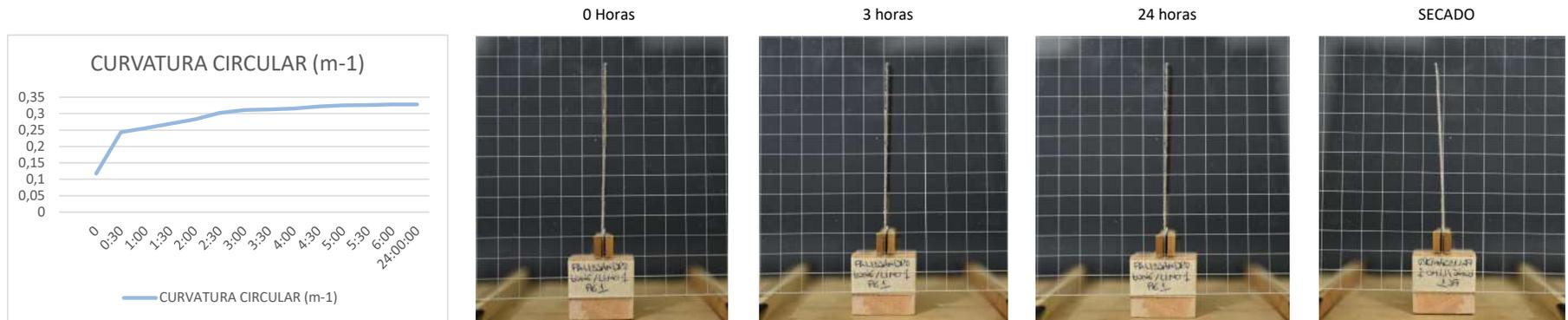
OBSERVACIONES

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	PA+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	17/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,1529257622
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGANICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	8.519	4.104	3.911	3.711	3.541	3.312	3.215	3.200	3.169	3.111	3.073	3.062	3.048	3.048
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,117383	0,243694	0,255665	0,269436	0,282393	0,30189	0,311007	0,312496	0,315524	0,321406	0,32538	0,326549	0,328049	0,328049
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



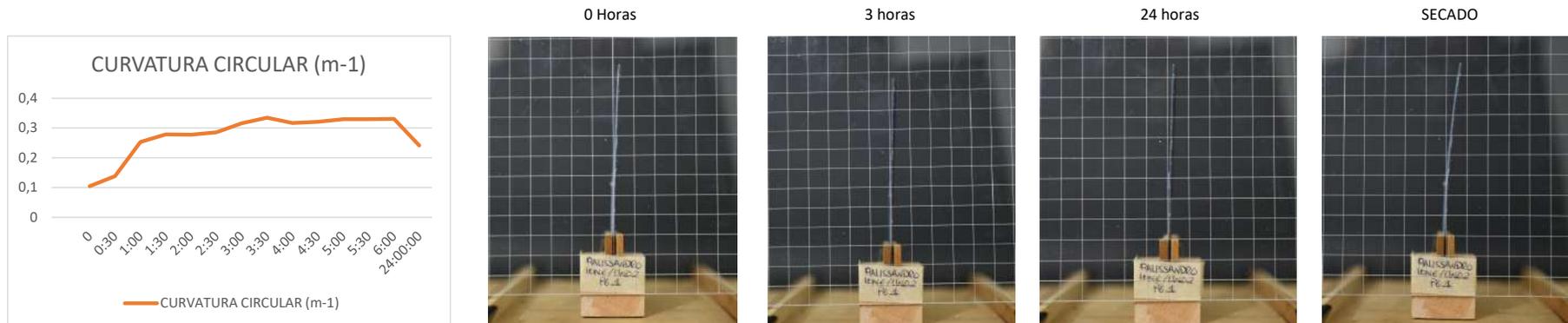
OBSERVACIONES
Se presenta una torsión leve

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	PA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	17/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,1529257622
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	9.545	7.215	3.955	3.585	3.595	3.496	3.168	2.987	3.151	3.112	3.031	3.033	3.026	4.147
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,104767	0,138605	0,25286	0,278958	0,278182	0,28606	0,315628	0,334822	0,317394	0,321372	0,329961	0,329743	0,330506	0,241164
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN MODERADA DEL ESTADO INICIAL													



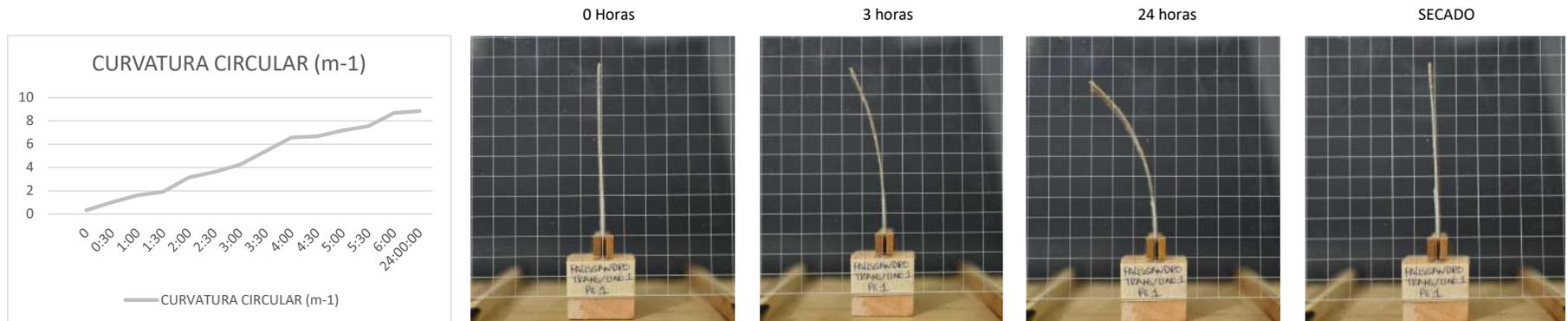
OBSERVACIONES
Se presenta una torsión leve

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	PA+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	17/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	7,888924044
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	3.010	978,24	620,14	518,93	317,37	275,14	235,96	185,35	152,12	149,95	139,44	132,33	115,12	112,98
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,332183	1,022246	1,612544	1,927046	3,150936	3,634542	4,237956	5,395286	6,573801	6,669099	7,171595	7,557037	8,686965	8,850928
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



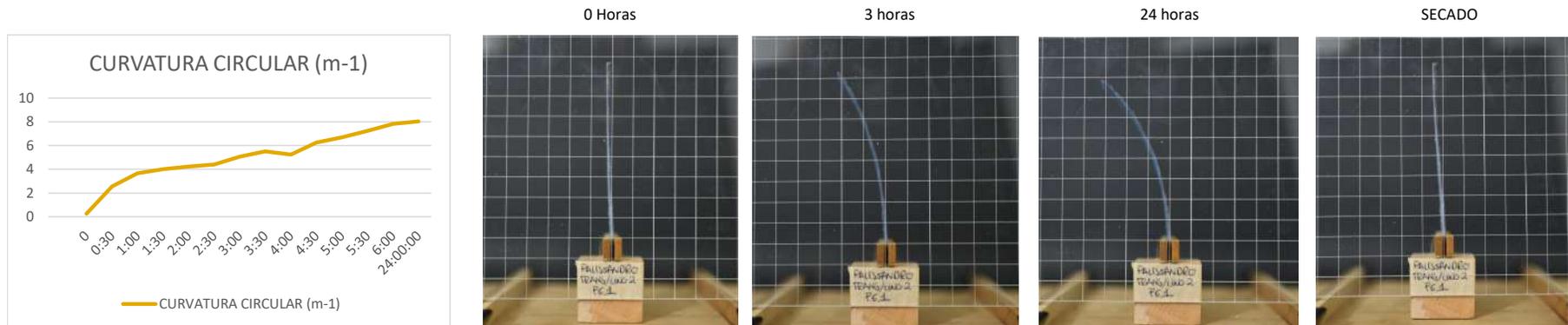
OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura moderada uniforme respecto al eje transversal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	PA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	17/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	7,888924044
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	3.926	392,49	272,21	249,38	236,32	226,94	196,85	181,38	190,43	159,81	149,27	138,22	127,93	124,40
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,254703	2,547847	3,67368	4,01002	4,231622	4,406494	5,079897	5,513378	5,251163	6,257274	6,699315	7,235	7,81708	8,038546
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



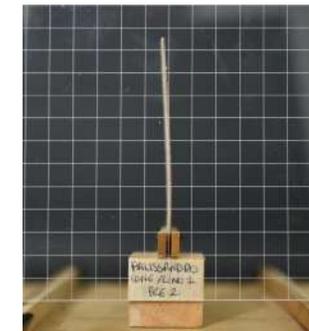
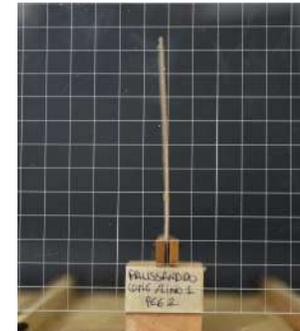
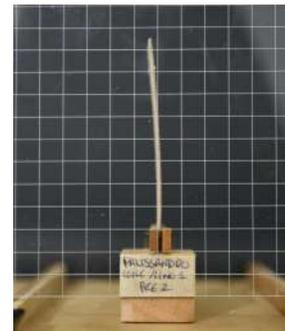
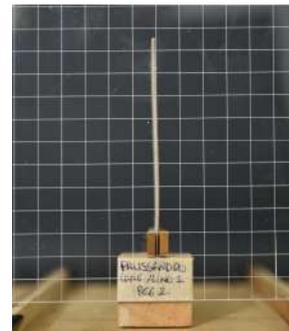
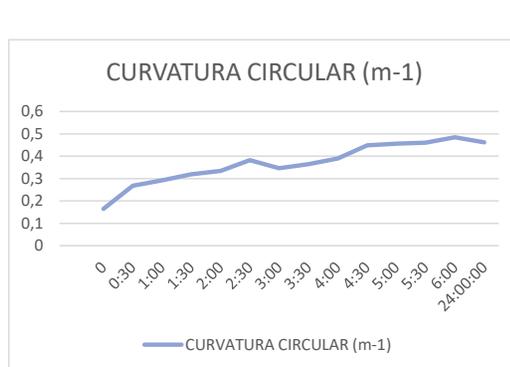
OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura moderada uniforme respecto al eje transversal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	PA+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	17/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,1529257622
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	6.076	3.723	3.415	3.125	2.994	2.614	2.890	2.749	2.563	2.226	2.191	2.172	2.064	2.161
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,164573	0,268603	0,292829	0,320004	0,333975	0,38257	0,345962	0,363802	0,390206	0,449287	0,456465	0,460458	0,484555	0,462846
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



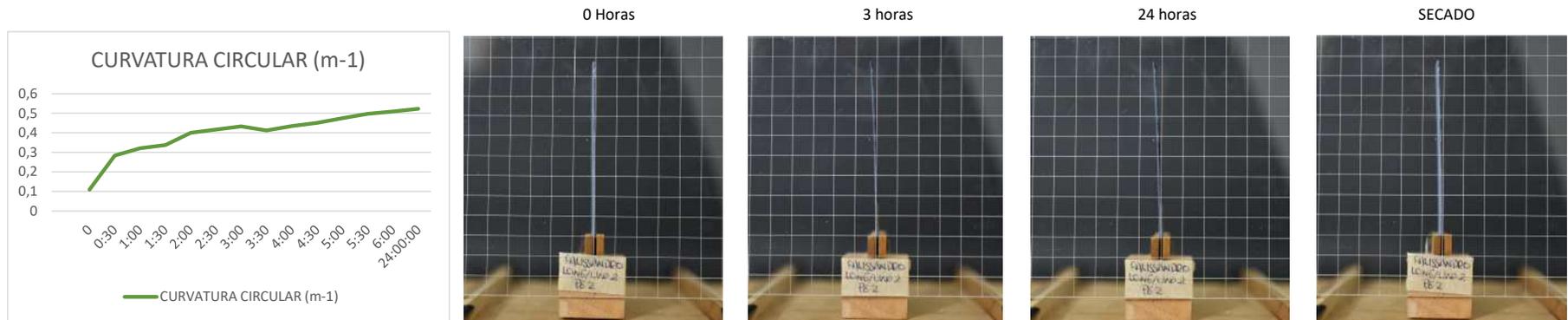
OBSERVACIONES
Lleva a una leve torsión

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	PA+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	17/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,1529257622
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	9.136	3.513	3.115	2.965	2.494	2.397	2.310	2.421	2.302	2.214	2.103	2.012	1.964	1.911
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,109453	0,28466	0,321031	0,337272	0,400925	0,417205	0,432808	0,413095	0,434452	0,451722	0,475568	0,49708	0,50923	0,52341
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



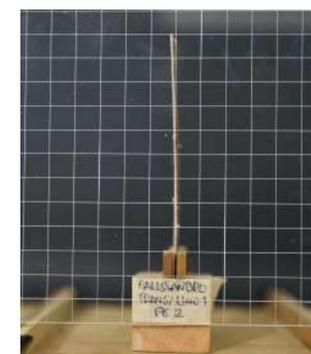
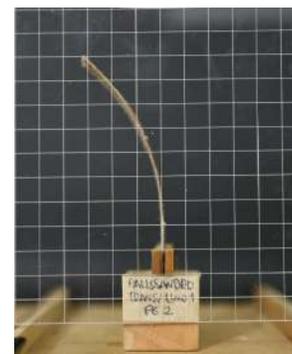
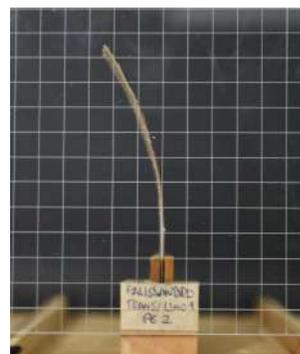
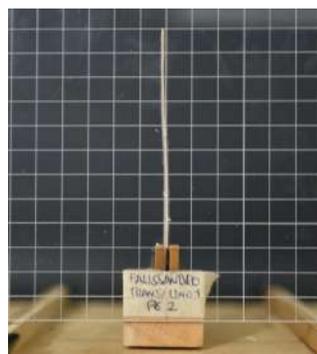
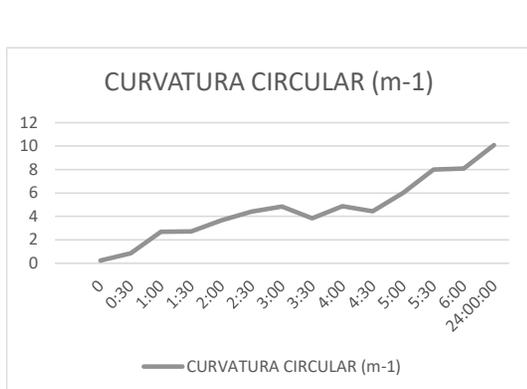
OBSERVACIONES
Leva a una leve torsión

PROYECTO	CARACTERIZACION DEL COMPORTAMIENTO HIGROMORFICO DE UN MATERIAL BICAPA COMPUESTO DE MADERA Y FIBRA DE LINO FRENTE A CAMBIOS DE HUMEDAD RELATIVA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, DESDE LA APLICACIÓN DE PROCESOS BIOMIMÉTICOS.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	PA+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	17/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPEJOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	7,888924044
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	4,279	1,179	372,34	367,53	273,16	227,20	206,32	260,12	205,99	225,13	165,83	125,19	123,90	99,19
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,233707	0,848282	2,685732	2,720874	3,660912	4,401451	4,846783	3,844424	4,854628	4,441971	6,030308	7,98805	8,071351	10,08116
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

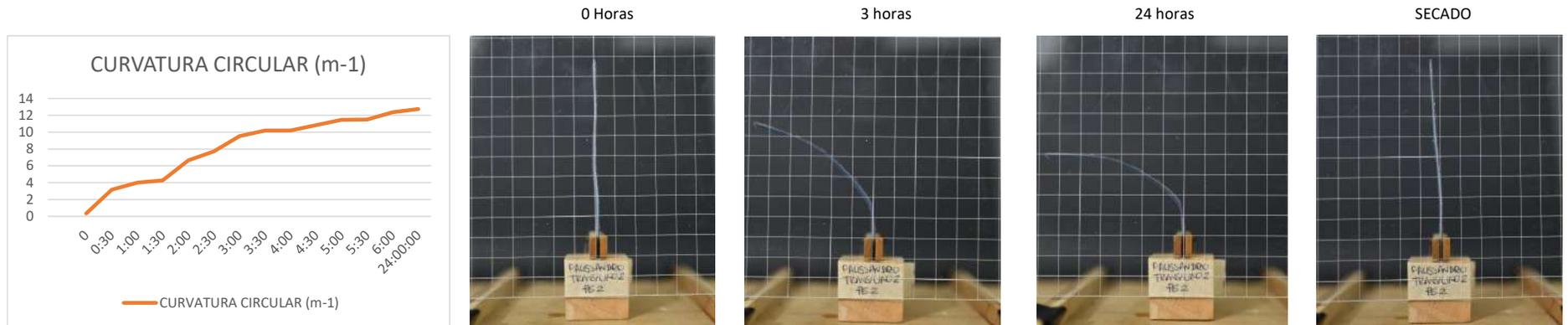
Se presenta una curvatura moderada uniforme respecto al eje transversal

PROYECTO	CARACTERIZACION DEL COMPORTAMIENTO HIGROMORFICO DE UN MATERIAL BICAPA COMPUESTO DE MADERA Y FIBRA DE LINO FRENTE A CAMBIOS DE HUMEDAD RELATIVA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, DESDE LA APLICACIÓN DE PROCESOS BIOMIMÉTICOS.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	PA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	13/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	PALISANDRO	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,50	INDICE HIGROEXPANSION (α)	7,888924044
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	2.984	315,49	249,41	234,18	150,20	129,22	105,00	98,14	98,01	92,33	87,13	86,89	80,70	78,44
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,335176	3,16969	4,009517	4,270305	6,657967	7,738872	9,523873	10,18984	10,20262	10,83127	11,47723	11,5092	12,39234	12,74795
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



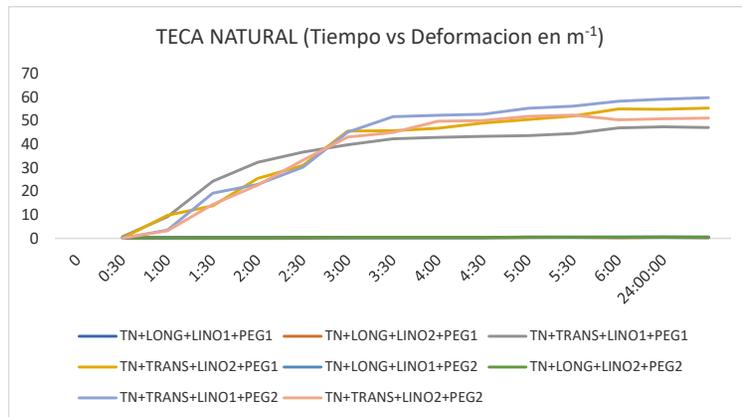
OBSERVACIONES

Se presenta una curvatura no uniforme respecto al eje transversal, con ruptura en su base

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	TECA NATURAL	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	19/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)			

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
TN+LONG+LINO1+PEG1	0,3036	0,3224	0,3308	0,3377	0,3661	0,3980	0,4081	0,4216	0,4610	0,4972	0,5639	0,5951	0,6067	0,5963
TN+LONG+LINO2+PEG1	0,1308	0,1584	0,1459	0,1452	0,1589	0,1925	0,2343	0,3138	0,3095	0,3320	0,3194	0,3046	0,3305	0,3188
TN+TRANS+LINO1+PEG1	0,7139	9,2389	24,3084	32,3321	36,5417	39,7807	42,3078	42,8321	43,2545	43,5819	44,5653	46,8889	47,3597	47,1054
TN+TRANS+LINO2+PEG1	0,0718	9,7572	13,8491	25,3966	30,9444	45,5834	45,7335	46,7792	48,9380	50,4694	51,9778	54,8938	54,8697	55,3223
TN+LONG+LINO1+PEG2	0,1238	0,2425	0,2548	0,2837	0,2946	0,3113	0,3134	0,2818	0,3162	0,3199	0,3344	0,3360	0,3374	0,3508
TN+LONG+LINO2+PEG2	0,2361	0,1918	0,3063	0,3160	0,3351	0,4120	0,4328	0,4309	0,4542	0,4709	0,5256	0,4825	0,5145	0,5234
TN+TRANS+LINO1+PEG2	0,0703	3,5861	19,1066	22,9732	30,1605	45,0495	51,6015	52,3095	52,6621	55,1715	56,0884	58,1835	59,1891	59,7207
TN+TRANS+LINO2+PEG2	0,0774	3,1697	14,4079	22,6371	33,1170	43,0704	44,9315	49,6598	49,9650	51,7456	52,3314	50,2841	50,7743	51,1025



	LONG	TRANS
DELAMINACION	SI	NO
UNIFORMIDAD DEFORMACION	SI	SI
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	NO	NO

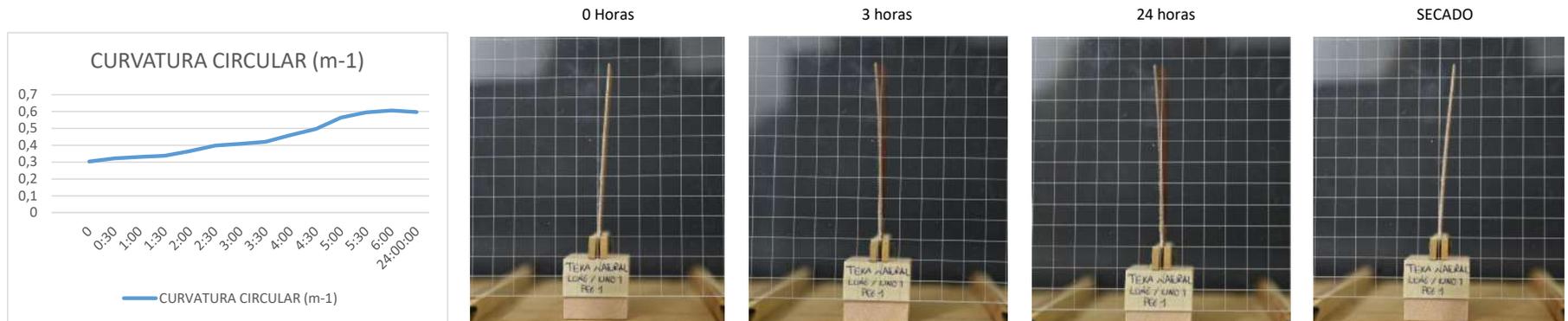
OBSERVACIONES

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	TN+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	19/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,44	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,5433820480
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGANICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	3.294	3.102	3.023	2.961	2.731	2.512	2.450	2.372	2.169	2.011	1.773	1.680	1.648	1.677
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,303586	0,322425	0,330757	0,337672	0,366144	0,398015	0,408124	0,421578	0,460972	0,497184	0,563911	0,595122	0,606675	0,596328
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN MODERADA DEL ESTADO INICIAL													



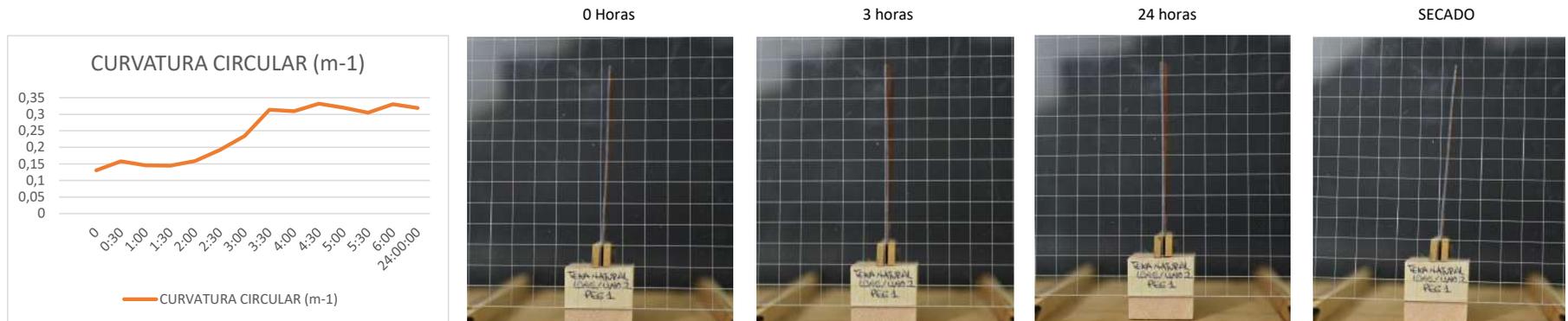
OBSERVACIONES
Se presenta una torsión leve sobre el eje central longitudinal

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	TN+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	19/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,44	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,5433820480
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	7.645	6.315	6.855	6.885	6.295	5.196	4.268	3.187	3.231	3.012	3.131	3.283	3.026	3.137
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,130805	0,158359	0,145884	0,145248	0,158862	0,192464	0,234286	0,313808	0,309534	0,332043	0,319421	0,304631	0,330506	0,318822
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN MODERADA DEL ESTADO INICIAL													



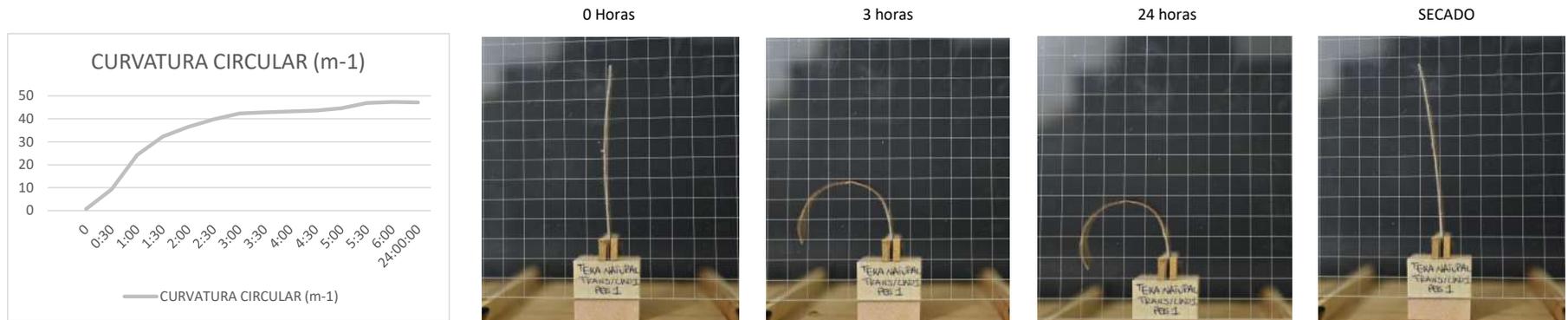
OBSERVACIONES
Leva a una leve torsión

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	TN+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	19/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,44	INDICE HIGROEXPANSION (α)	5,616010027
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	1.401	108,24	41,14	30,93	27,37	25,14	23,64	23,35	23,12	22,95	22,44	21,33	21,12	21,23
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,713877	9,238899	24,30843	32,33212	36,54169	39,78073	42,30781	42,83206	43,25447	43,58191	44,56527	46,88892	47,3597	47,10537
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN MODERADA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

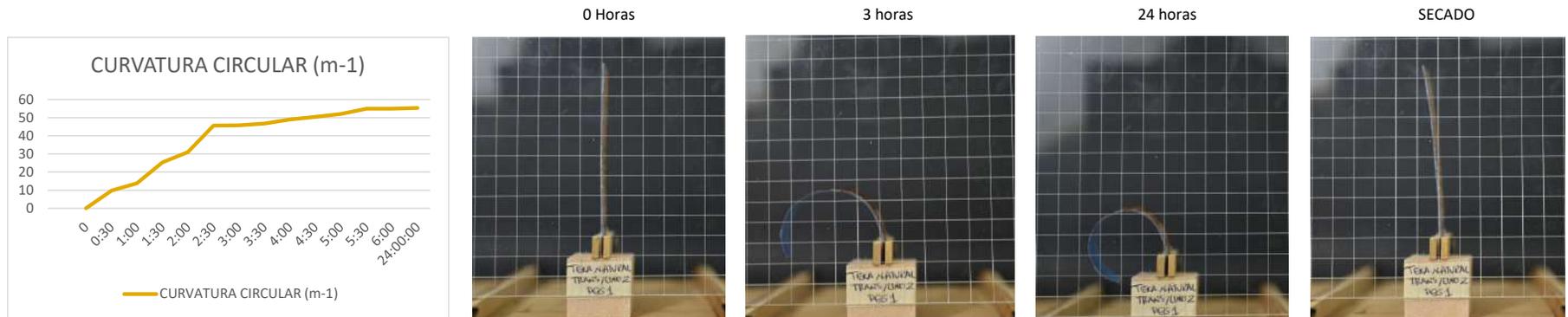
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro alrededor de 360°

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	TN+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	19/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,44	INDICE HIGROEXPANSION (α)	5,616010027
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	13,926	102	72,21	39,38	32,32	21,94	21,87	21,38	20,43	19,81	19,24	18,22	18,23	18,08
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,071807	9,757211	13,84915	25,39663	30,94442	45,58342	45,73352	46,77925	48,93804	50,46937	51,97775	54,89378	54,86968	55,32228
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro alrededor de más de 360°

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	TN+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	19/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,44	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,5433820480
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

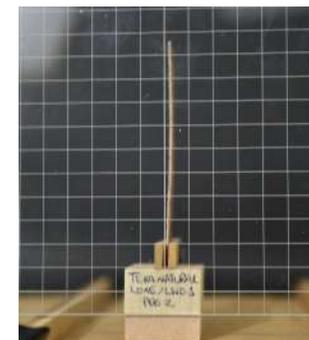
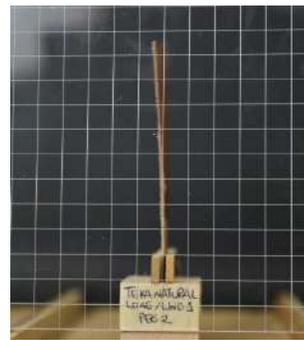
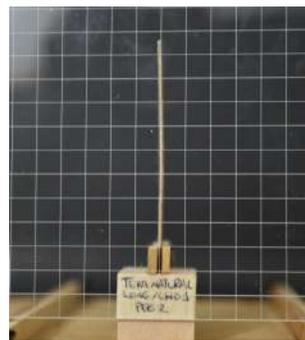
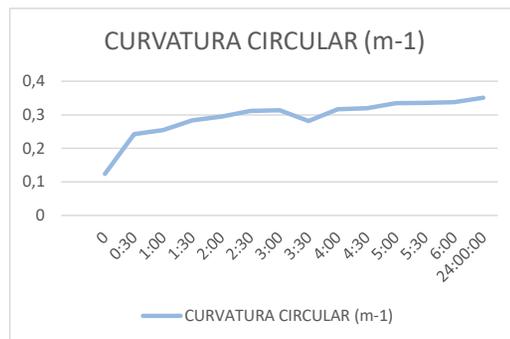
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	8.076	4.123	3.925	3.525	3.394	3.212	3.190	3.549	3.163	3.126	2.991	2.976	2.964	2.851
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,123818	0,242544	0,254779	0,283691	0,294617	0,311342	0,313431	0,281789	0,316181	0,319923	0,334364	0,33605	0,33741	0,35081
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													

0 Horas

3 horas

24 horas

SECADO



OBSERVACIONES

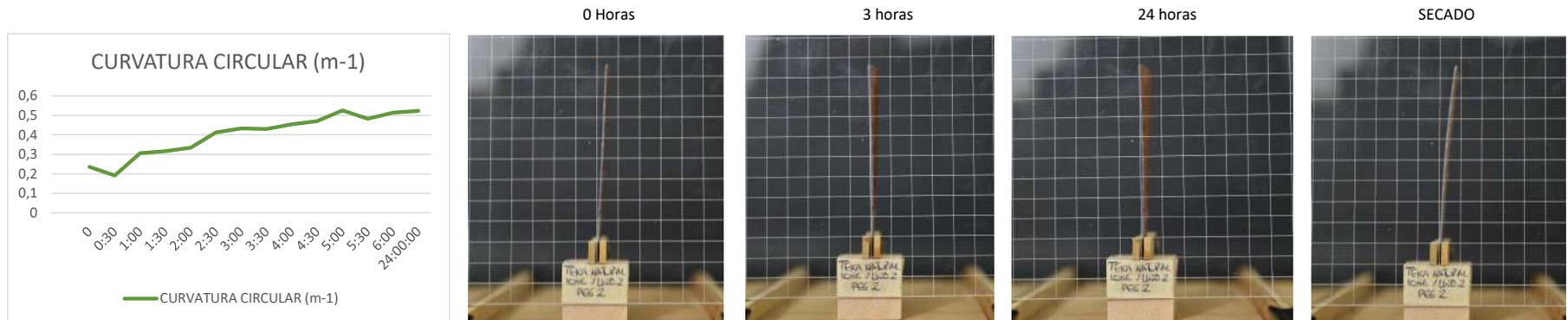
Lleva a una leve torsión

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	TN+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	19/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,44	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,5433820480
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	4.236	5.213	3.265	3.165	2.984	2.427	2.310	2.321	2.202	2.124	1.903	2.073	1.944	1.911
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,236053	0,191829	0,306282	0,315959	0,335094	0,412048	0,432808	0,430895	0,454184	0,470865	0,525555	0,482451	0,51447	0,52341
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN MODERADA DEL ESTADO INICIAL													



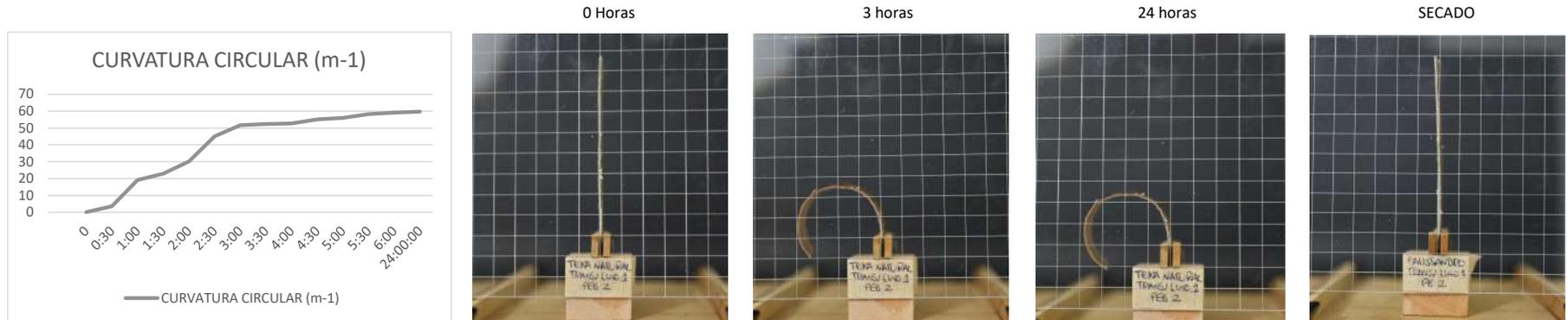
OBSERVACIONES
Leva a una leve torsión

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	TN+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	19/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,44	INDICE HIGROEXPANSION (α)	5,616010027
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	14,223	279	52,34	43,53	33,16	22,20	19,38	19,12	18,99	18,13	17,83	17,19	16,90	16,74
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,070309	3,586109	19,10658	22,97319	30,16045	45,04951	51,60145	52,30946	52,66207	55,1715	56,0884	58,18351	59,18911	59,72075
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

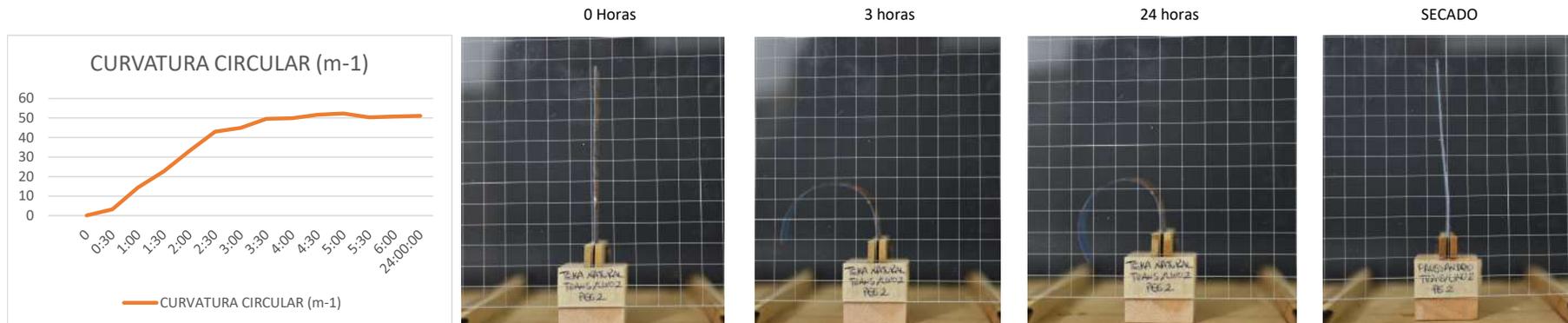
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro alrededor de más de 360°

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	TN+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	19/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	TECA NATURAL	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,44	INDICE HIGROEXPANSION (α)	5,616010027
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	12.924	315,49	69,41	44,18	30,20	23,22	22,26	20,14	20,01	19,33	19,11	19,89	19,70	19,57
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,077378	3,16969	14,40785	22,63708	33,11697	43,0704	44,9315	49,65983	49,96502	51,74564	52,33136	50,28411	50,77431	51,10254
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													

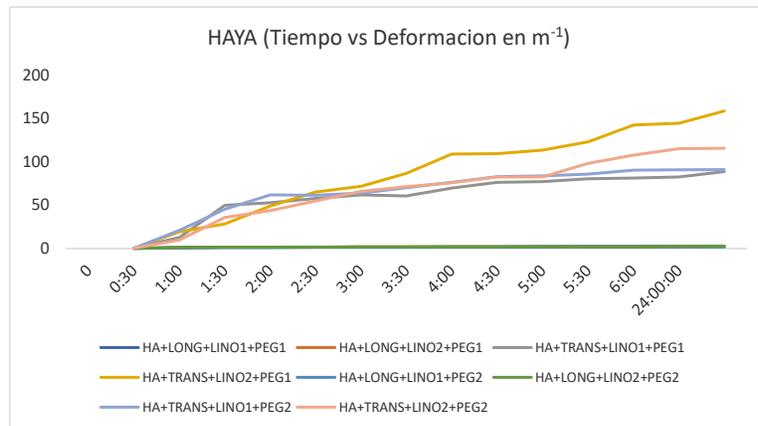


OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro alrededor de 360°

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	SYCAMORE	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)			

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
HA+LONG+LINO1+PEG1	0,1028	1,1871	1,2782	1,4056	1,4659	1,5988	1,6256	1,8690	1,8938	2,0919	2,1587	2,1785	2,2319	2,2278
HA+LONG+LINO2+PEG1	0,0748	1,2273	1,3076	1,3798	1,6266	1,6785	1,8749	1,9393	1,7046	1,8394	1,9280	2,0216	2,3604	2,4183
HA+TRANS+LINO1+PEG1	0,3322	12,7815	49,6574	52,8290	57,5838	61,9663	60,5774	69,7010	76,2253	77,2481	80,3923	81,1227	82,5423	88,7453
HA+TRANS+LINO2+PEG1	0,1384	19,0519	28,4038	49,0790	65,2912	71,7473	86,5501	108,9681	109,4811	113,4559	123,0164	142,5110	144,4043	158,6722
HA+LONG+LINO1+PEG2	0,1293	0,4645	0,9951	1,2301	1,3657	1,4166	1,4494	1,5021	1,5227	1,6508	1,6871	1,7101	1,7160	1,7934
HA+LONG+LINO2+PEG2	0,0880	1,0725	1,2743	1,3989	1,6278	1,6701	1,7290	1,7371	1,7046	1,8394	1,9280	2,0216	2,3604	2,7616
HA+TRANS+LINO1+PEG2	0,2319	20,7305	45,1712	62,0001	61,2520	63,9476	70,1287	76,2369	83,1324	83,8553	85,9919	90,1957	90,7029	91,0481
HA+TRANS+LINO2+PEG2	0,2930	9,7572	35,8338	43,5250	54,9571	66,1472	71,3216	75,7748	82,5491	82,4722	98,4349	107,6774	115,0086	115,6604



	LONG	TRANS
DELAMINACION	NO	NO
UNIFORMIDAD DEFORMACION	SI	SI
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	SI	SI

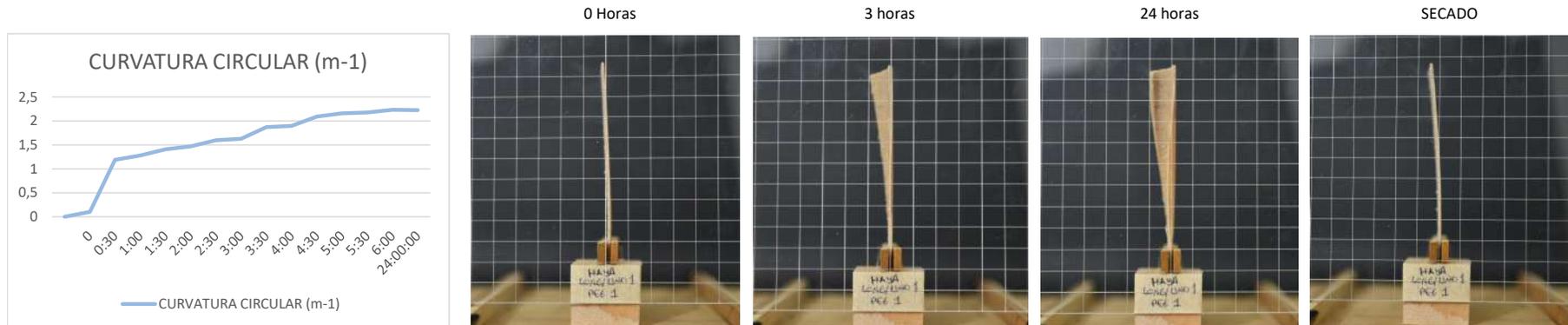
OBSERVACIONES

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	HA+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	21/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,4374621681
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGANICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	9.729	842	782,37	711,46	682,17	625,47	615,18	535,04	528,04	478,04	463,24	459,04	448,04	448,88
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,102784	1,187131	1,278173	1,405567	1,465917	1,598806	1,625552	1,869014	1,893791	2,091869	2,158702	2,178453	2,231937	2,227771
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

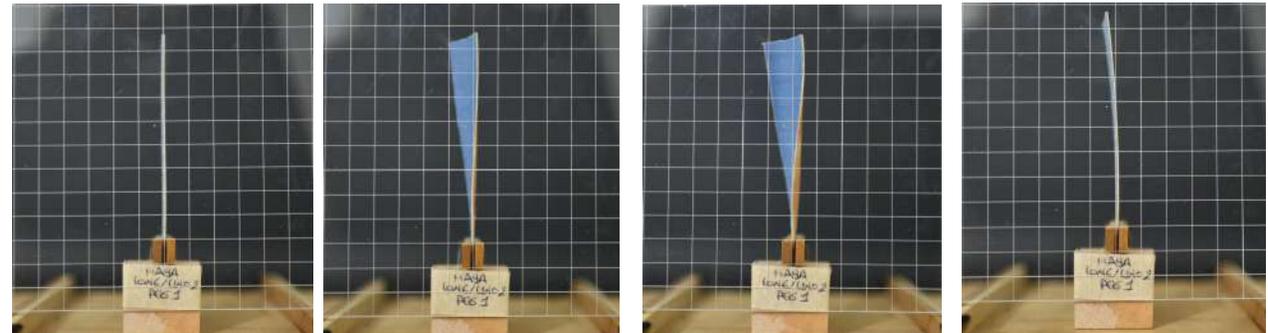
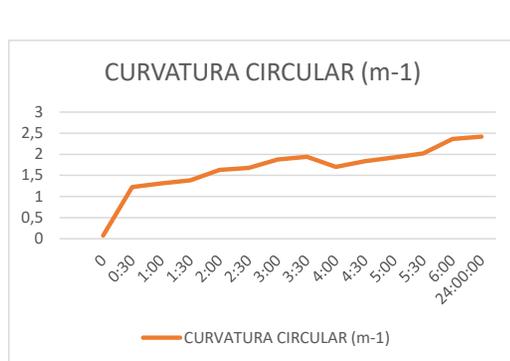
Se presenta una torsión de más de 90° sobre el eje central longitudinal, con la mayor deformación respecto a su estado inicial a las 0:30

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	HA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,4374621681
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	13.365	814,77	764,77	724,77	614,77	595,77	533,37	515,66	586,66	543,66	518,66	494,66	423,66	413,51
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,074822	1,227348	1,307591	1,379757	1,626638	1,678514	1,874873	1,939255	1,704559	1,839378	1,928038	2,021583	2,360373	2,418345
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES

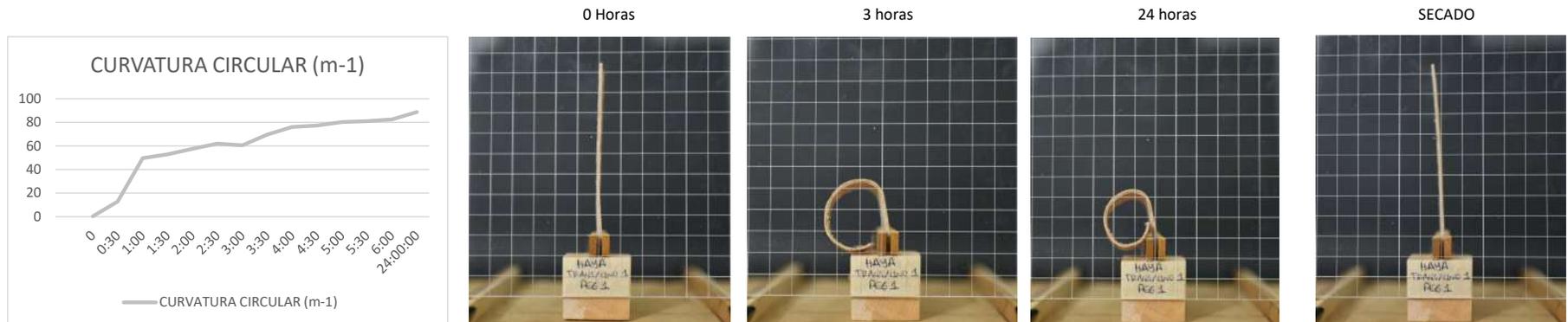
Se presenta una torsión de más de 90° sobre el eje central longitudinal, con la mayor deformación respecto a su estado inicial a las 0:30

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	HA+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	11,300114818
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	3.010	78,24	20,14	18,93	17,37	16,14	16,51	14,35	13,12	12,95	12,44	12,33	12,12	11,27
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,332183	12,78151	49,65736	52,82899	57,58378	61,96632	60,57742	69,70098	76,22532	77,24811	80,39231	81,12274	82,5423	88,74532
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro más allá de 360°, creando una espiral

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	HA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	PL-285

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	11,300114818
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

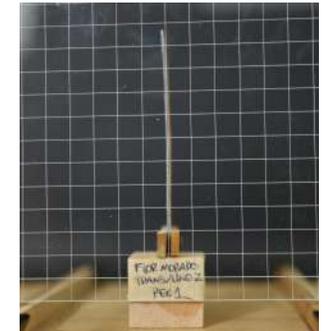
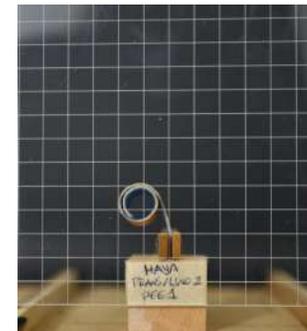
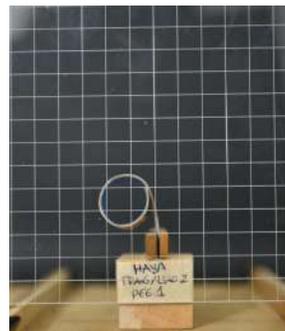
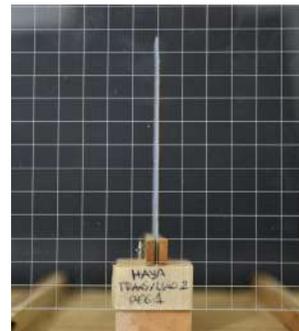
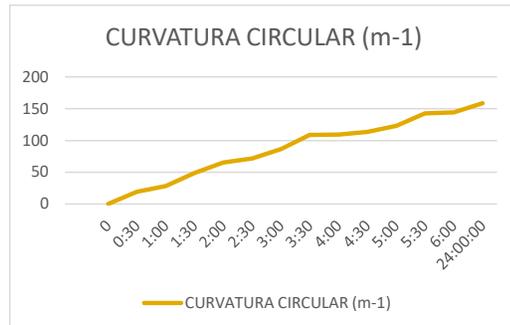
MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	7.226	52,49	35,21	20,38	15,32	13,94	11,55	9,18	9,13	8,81	8,13	7,02	6,93	6,30
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,138386	19,05186	28,40377	49,07903	65,2912	71,74733	86,55011	108,9681	109,4811	113,4559	123,0164	142,511	144,4043	158,6722
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACION COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													

0 Horas

3 horas

24 horas

SECADO



OBSERVACIONES

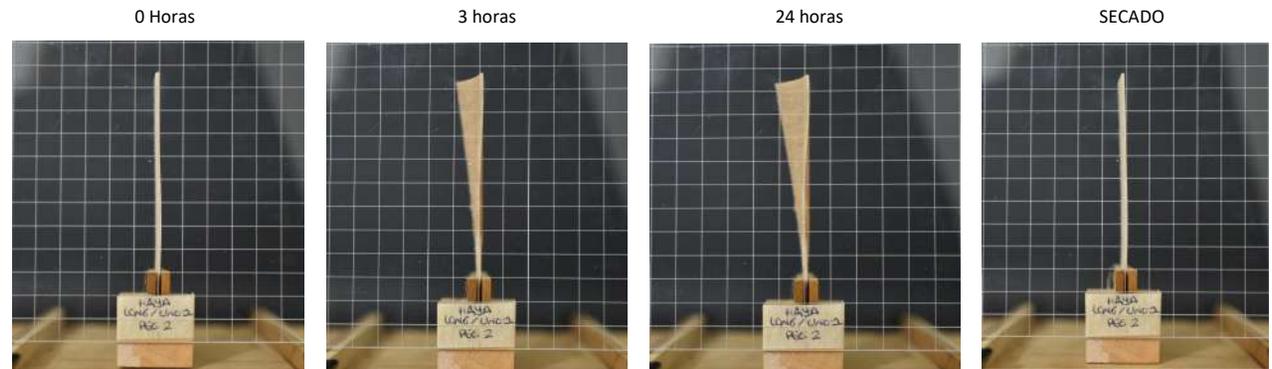
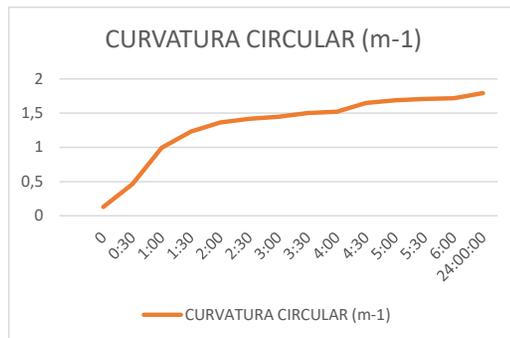
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro más allá de 360°, creando una espiral con varios giros

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	HA+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,4374621681
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	7.734	2.153	1.005	812,96	732,23	705,90	689,95	665,75	656,75	605,75	592,75	584,75	582,75	557,60
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,129296	0,464476	0,995062	1,230068	1,365686	1,416629	1,449381	1,502068	1,522652	1,650849	1,687055	1,710135	1,716005	1,793411
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACION COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



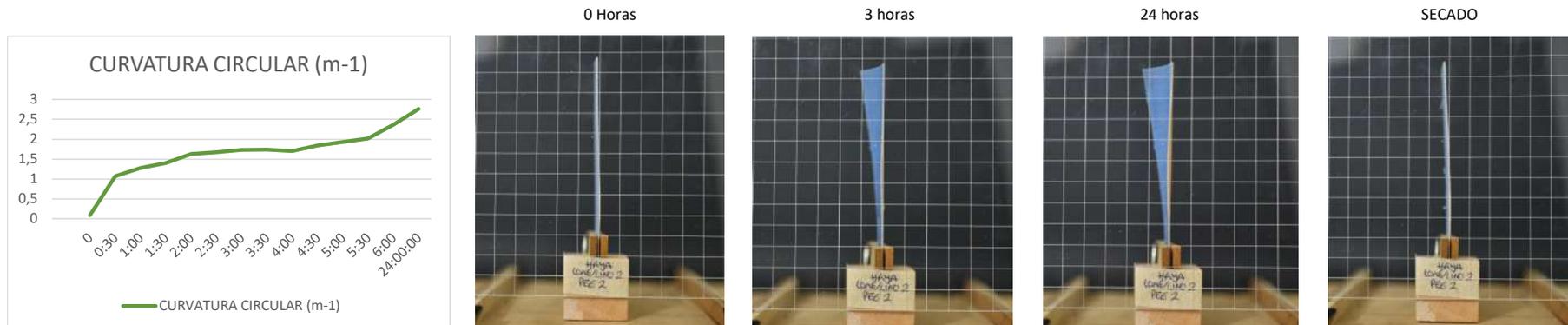
OBSERVACIONES
Se presenta una torsión de más de 90° sobre el eje central longitudinal, con la mayor deformación respecto a su estado inicial a las 0:30

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	HA+LINO1+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPESOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,4374621681
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	11.365	932,37	784,77	714,87	614,33	598,77	578,37	575,66	586,66	543,66	518,66	494,66	423,66	362,11
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,08799	1,072541	1,274267	1,398865	1,627803	1,670104	1,728998	1,737131	1,704559	1,839378	1,928038	2,021583	2,360373	2,761622
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	RECUPERACIÓN COMPLETA DEL ESTADO INICIAL													



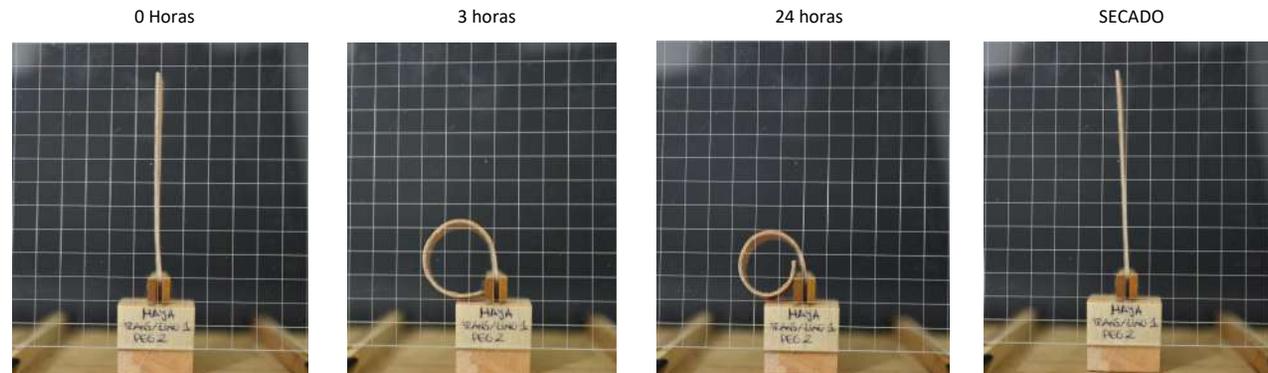
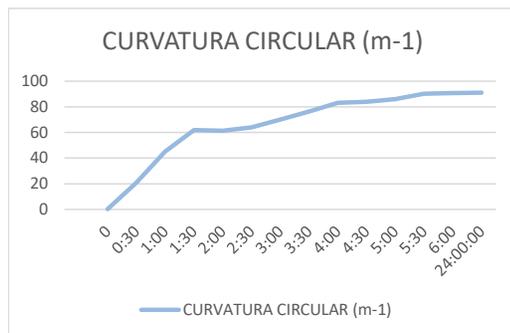
OBSERVACIONES
Lleva a una leve torsión

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	HA+LINO1+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	11,300114818
TIPO DE LINO	LINO BLANCO ORGÁNICO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,10	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	4.313	48,24	22,14	16,13	16,33	15,64	14,26	13,12	12,03	11,93	11,63	11,09	11,03	10,98
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,231865	20,73054	45,1712	62,00012	61,25199	63,94761	70,12869	76,23694	83,13243	83,85533	85,99192	90,19572	90,70295	91,04815
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



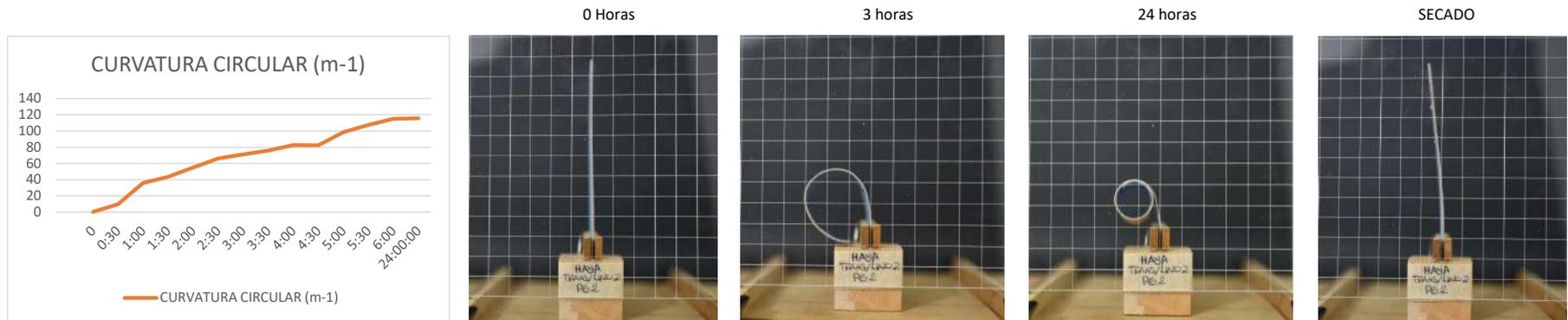
OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro más allá de 360°, creando una circunferencia

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA

PROBETA	HA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	15/12/2022
HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	TEMP AMBIENTE (°C)		MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANSVERSAL
ESPESOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	11,300114818
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPESOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00:00
RADIO (mm)	3,414	102,49	27,91	22,98	18,20	15,12	14,02	13,20	12,11	12,13	10,16	9,29	8,70	8,65
CURVATURA CIRCULAR (m-1)	0,292953	9,757211	35,83382	43,525	54,95713	66,14719	71,32159	75,7748	82,54912	82,47219	98,43489	107,6774	115,0086	115,6604
DELAMINACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UNIFORMIDAD DEFORMACION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECUPERACION DEL ESTADO INICIAL	DEFORMACIÓN LEVE DEL ESTADO INICIAL													



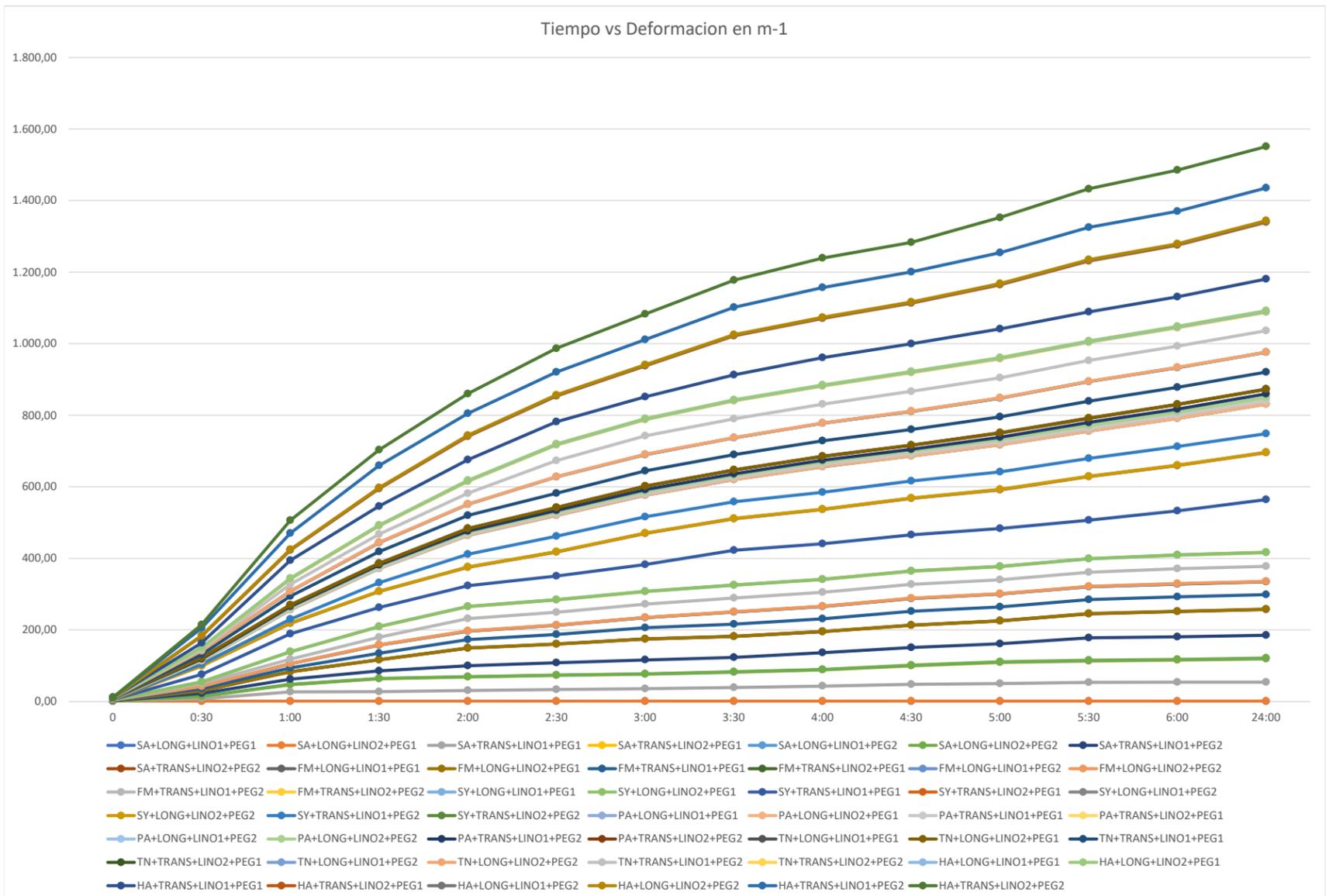
OBSERVACIONES
Se presenta una curvatura uniforme respecto al eje transversal, que tiene un giro más allá de 360°, creando una espiral

F. Anexo: Probetas Iniciales

PROYECTO	DE LA BIOMÍMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA
ASESOR	ARQ. DAVID SEBASTIAN PÉREZ CABRERA

HUMEDAD AMBIENTE (%)	90%	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	FECHA	
-----------------------------	-----	--------------------	----------------	--------------	--

MEDICION (h)	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00	DELAMINACION	UNIFORMIDAD	RECUPERACION
SAPELLI	SA+LONG+LINO1+PEG1	0,17	0,40	0,41	0,40	0,41	0,42	0,42	0,43	0,46	0,47	0,48	0,54	0,57			RC
	SA+LONG+LINO2+PEG1	0,11	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,43	0,46	0,47	0,48	0,49	0,51			DL
	SA+TRANS+LINO1+PEG1	0,36	7,25	26,08	26,65	30,08	32,76	35,30	38,50	42,39	46,85	49,09	52,67	53,01			RC
	SA+TRANS+LINO2+PEG1	0,31	6,01	20,24	36,00	37,96	39,31	40,12	42,59	45,02	51,91	58,93	59,22	61,37			RC
	SA+LONG+LINO1+PEG2	0,40	0,43	0,45	0,47	0,48	0,48	0,52	0,54	0,59	0,65	0,73	0,88	0,95			DL
	SA+LONG+LINO2+PEG2	0,27	0,35	0,53	0,56	0,58	0,60	0,62	0,68	0,70	1,19	1,36	1,47	1,48			DL
	SA+TRANS+LINO1+PEG2	0,41	8,00	14,63	21,04	29,99	34,57	39,06	40,13	46,75	49,44	50,58	62,55	63,03			RC
	SA+TRANS+LINO2+PEG2	0,31	7,33	20,24	30,98	49,27	52,04	58,12	58,35	58,78	61,86	63,34	67,17	70,45			RC
FLORMORADO	FM+LONG+LINO1+PEG1	0,18	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,42	0,43			DL
	FM+LONG+LINO2+PEG1	0,17	0,31	0,31	0,32	0,34	0,34	0,34	0,38	0,40	0,45	0,45	0,46	0,47			RC
	FM+TRANS+LINO1+PEG1	0,25	5,04	10,17	17,69	23,12	26,08	31,31	33,61	34,98	38,54	38,66	38,93	40,14			DL
	FM+TRANS+LINO2+PEG1	0,42	6,01	11,71	23,00	23,73	25,68	27,81	34,04	34,71	35,57	35,63	35,73	35,82			RC
	FM+LONG+LINO1+PEG2	0,25	0,37	0,38	0,40	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48			RC
	FM+LONG+LINO2+PEG2	0,40	0,50	0,51	0,52	0,53	0,53	0,54	0,60	0,63	0,67	0,68	0,69	0,69			DL
	FM+TRANS+LINO1+PEG2	0,37	7,51	12,15	21,04	34,31	35,72	36,67	38,29	38,48	38,57	38,81	39,70	41,85			RC
	FM+TRANS+LINO2+PEG2	0,34	4,23	20,24	29,26	33,12	34,23	35,04	35,54	35,70	36,60	36,73	37,19	37,46			DL
SYCAMORE	SY+LONG+LINO1+PEG1	0,15	0,34	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,37	0,38	0,39	0,40	0,42	0,43			RC
	SY+LONG+LINO2+PEG1	0,16	0,32	0,39	0,43	0,44	0,46	0,46	0,50	0,50	0,54	0,54	0,56	0,57			DL
	SY+TRANS+LINO1+PEG1	0,33	20,73	49,66	52,83	57,58	66,06	75,13	96,65	98,82	100,55	105,94	107,22	123,23			DL
	SY+TRANS+LINO2+PEG1	0,47	23,54	29,23	44,69	51,77	66,94	86,55	87,90	95,84	101,90	107,89	121,70	126,18			RC
	SY+LONG+LINO1+PEG2	0,13	0,34	0,35	0,38	0,43	0,45	0,45	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55			RC
	SY+LONG+LINO2+PEG2	0,12	0,33	0,61	0,63	0,66	0,69	0,70	0,64	0,66	0,67	0,70	0,71	0,72			RC
	SY+TRANS+LINO1+PEG2	0,41	4,73	10,83	23,51	35,54	43,26	45,58	46,69	47,33	47,56	48,81	49,78	51,88			RC
	SY+TRANS+LINO2+PEG2	0,40	8,58	26,04	39,72	52,09	58,08	59,94	61,89	71,36	69,81	75,59	75,83	78,77			DL
PALISANDRO	PA+LONG+LINO1+PEG1	0,12	0,24	0,26	0,27	0,28	0,30	0,31	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33			DL
	PA+LONG+LINO2+PEG1	0,10	0,14	0,25	0,28	0,28	0,29	0,32	0,33	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33			DM
	PA+TRANS+LINO1+PEG1	0,33	1,02	1,61	1,93	3,15	3,63	4,24	5,40	6,57	6,67	7,17	7,56	8,69			RC
	PA+TRANS+LINO2+PEG1	0,25	2,55	3,67	4,01	4,23	4,41	5,08	5,51	5,25	6,26	6,70	7,24	7,82			DL
	PA+LONG+LINO1+PEG2	0,16	0,27	0,29	0,32	0,33	0,38	0,35	0,36	0,39	0,45	0,46	0,46	0,48			RC
	PA+LONG+LINO2+PEG2	0,11	0,28	0,32	0,34	0,40	0,42	0,43	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,51			RC
	PA+TRANS+LINO1+PEG2	0,23	0,85	2,69	2,72	3,66	4,40	4,85	3,84	4,85	4,44	6,03	7,99	8,07			RC
	PA+TRANS+LINO2+PEG2	0,34	3,17	4,01	4,27	6,66	7,74	9,52	10,19	10,20	10,83	11,48	11,51	12,39			DL
TECA NATURAL	TN+LONG+LINO1+PEG1	0,30	0,32	0,33	0,34	0,37	0,40	0,41	0,42	0,46	0,50	0,56	0,60	0,61			DM
	TN+LONG+LINO2+PEG1	0,13	0,16	0,15	0,15	0,16	0,19	0,23	0,31	0,31	0,33	0,32	0,30	0,33			DM
	TN+TRANS+LINO1+PEG1	0,71	9,24	24,31	32,33	36,54	39,78	42,31	42,83	43,25	43,58	44,57	46,89	47,36			DM
	TN+TRANS+LINO2+PEG1	0,07	9,76	13,85	25,40	30,94	45,58	45,73	46,78	48,94	50,47	51,98	54,89	54,87			DL
	TN+LONG+LINO1+PEG2	0,12	0,24	0,25	0,28	0,29	0,31	0,31	0,28	0,32	0,32	0,33	0,34	0,34			RC
	TN+LONG+LINO2+PEG2	0,24	0,19	0,31	0,32	0,34	0,41	0,43	0,43	0,45	0,47	0,53	0,48	0,51			DM
	TN+TRANS+LINO1+PEG2	0,07	3,59	19,11	22,97	30,16	45,05	51,60	52,31	52,66	55,17	56,09	58,18	59,19			RC
	TN+TRANS+LINO2+PEG2	0,08	3,17	14,41	22,64	33,12	43,07	44,93	49,66	49,97	51,75	52,33	50,28	50,77			DL
HAYA	HA+LONG+LINO1+PEG1	0,10	1,19	1,28	1,41	1,47	1,60	1,63	1,87	1,89	2,09	2,16	2,18	2,23			DL
	HA+LONG+LINO2+PEG1	0,07	1,23	1,31	1,38	1,63	1,68	1,87	1,94	1,70	1,84	1,93	2,02	2,36			DL
	HA+TRANS+LINO1+PEG1	0,33	12,78	49,66	52,83	57,58	61,97	60,58	69,70	76,23	77,25	80,39	81,12	82,54			DL
	HA+TRANS+LINO2+PEG1	0,14	19,05	28,40	49,08	65,29	71,75	86,55	108,97	109,48	113,46	123,02	142,51	144,40			RC
	HA+LONG+LINO1+PEG2	0,13	0,46	1,00	1,23	1,37	1,42	1,45	1,50	1,52	1,65	1,69	1,71	1,72			RC
	HA+LONG+LINO2+PEG2	0,09	1,07	1,27	1,40	1,63	1,67	1,73	1,74	1,70	1,84	1,93	2,02	2,36			RC
	HA+TRANS+LINO1+PEG2	0,23	20,73	45,17	62,00	61,25	63,95	70,13	76,24	83,13	83,86	85,99	90,20	90,70			DL
	HA+TRANS+LINO2+PEG2	0,29	9,76	35,83	43,53	54,96	66,15	71,32	75,77	82,55	82,47	98,43	107,68	115,01			DL



G. Anexo: Preselección de probetas

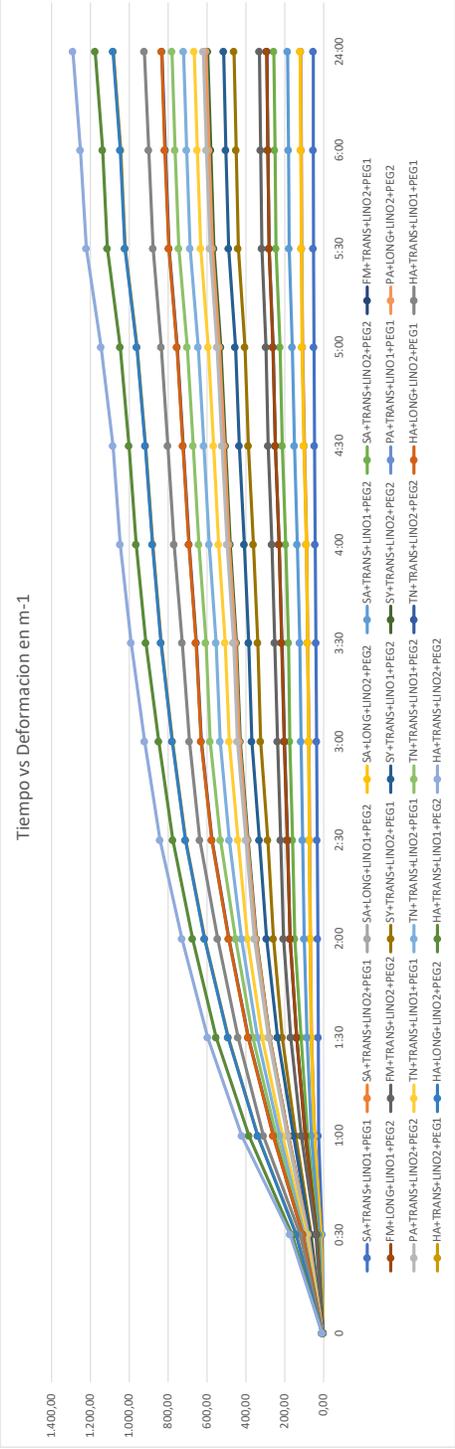


**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE GUADUA Y MADERA
REGISTRO ENSAYO PREEXPERIMENTO COMBINACIONES A HUMEDAD CONSTANTE**

CODIGO
VERSION 1.0
PAGINA 1 DE 1

PROYECTO	DE LA BIOMIMESIS A LOS MATERIALES HIGROMÓRFICOS: Caracterización del comportamiento higromórfico de un material bicapa compuesto de madera y fibra de lino, frente a cambios de humedad relativa en la ciudad de Bogotá.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRIGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA
ASESOR	ARQ. DAVID SEBASTIAN PÉREZ CABRERA

MEDICION (h)	DIMENSIONES										FECHA										UNIFORMIDAD	DELAMINACION	RECUPERACION												
	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00	0	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30				3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	24:00				
SA+TRANS+LINO1+PEG1	0.36	7.25	26.08	26.65	30.08	32.78	35.30	38.50	42.39	46.85	49.08	52.67	53.01	53.21	NO	SI	RC	SA+TRANS+LINO2+PEG1	0.31	6.01	20.24	36.00	37.96	39.31	40.12	42.59	45.02	51.91	58.93	59.22	61.37	64.65	NO	SI	RC
SA+LONG+LINO1+PEG2	0.40	0.43	0.45	0.47	0.48	0.48	0.52	0.54	0.59	0.65	0.73	0.88	0.95	0.98	NO	SI	DL	SA+LONG+LINO2+PEG2	0.27	0.35	0.53	0.56	0.58	0.60	0.62	0.68	0.70	1.19	1.36	1.47	1.48	1.51	NO	SI	DL
SA+TRANS+LINO1+PEG2	0.41	8.00	14.63	21.04	29.99	34.57	39.06	40.13	46.75	49.44	50.58	62.55	63.03	63.95	NO	SI	RC	SA+TRANS+LINO2+PEG2	0.31	7.33	20.24	30.98	49.27	52.04	58.12	58.35	58.78	61.86	63.34	67.17	70.45	71.90	NO	SI	RC
FM+TRANS+LINO1+PEG1	0.42	6.01	11.71	23.00	23.73	25.68	27.81	34.04	34.71	35.57	35.63	35.73	35.82	35.90	NO	SI	RC	FM+TRANS+LINO2+PEG1	0.25	0.37	0.38	0.40	0.44	0.45	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	NO	SI	RC	
FM+LONG+LINO1+PEG2	0.34	4.23	20.24	29.26	33.12	34.23	35.04	35.54	35.70	36.60	36.73	37.19	37.46	38.01	NO	SI	DL	FM+LONG+LINO2+PEG2	0.47	23.54	29.23	44.69	51.77	66.94	86.55	87.90	95.84	101.90	107.89	121.70	126.18	130.85	NO	SI	RC
SY+TRANS+LINO2+PEG1	0.41	4.73	10.83	23.51	35.54	43.26	45.58	46.69	47.33	47.56	48.81	49.78	51.88	51.98	NO	SI	RC	SY+TRANS+LINO1+PEG2	0.40	8.58	26.04	39.72	52.09	58.08	59.94	61.89	71.36	69.81	75.59	75.83	78.77	82.95	NO	SI	DL
PA+TRANS+LINO1+PEG1	0.33	1.02	1.61	1.93	3.15	3.63	4.24	5.40	6.57	6.67	7.17	7.56	8.69	8.85	NO	SI	RC	PA+TRANS+LINO2+PEG2	0.11	0.28	0.32	0.34	0.40	0.42	0.43	0.41	0.43	0.45	0.48	0.50	0.51	0.52	NO	SI	RC
PA+LONG+LINO1+PEG2	0.34	3.17	4.01	4.27	6.68	7.74	9.52	10.19	10.20	10.83	11.48	11.51	12.39	12.75	NO	SI	DL	PA+LONG+LINO2+PEG2	0.71	9.24	24.31	32.33	36.54	39.78	42.31	42.83	43.25	43.58	44.57	46.89	47.36	47.11	NO	SI	DM
TN+TRANS+LINO1+PEG1	0.07	9.76	13.85	25.40	30.94	45.68	45.73	46.78	48.94	50.47	51.98	54.89	54.87	55.32	NO	SI	DL	TN+TRANS+LINO2+PEG1	0.07	3.59	19.11	22.97	30.16	45.05	51.60	52.31	52.66	55.17	56.09	58.18	59.19	59.72	NO	SI	RC
TN+TRANS+LINO1+PEG2	0.08	3.17	14.41	22.64	33.12	43.97	44.93	49.66	49.87	51.75	52.33	50.28	50.77	51.10	NO	SI	DL	TN+TRANS+LINO2+PEG2	0.07	1.23	1.31	1.38	1.63	1.68	1.87	1.94	1.70	1.84	1.93	2.02	2.36	2.42	NO	SI	DL
HA+TRANS+LINO1+PEG1	0.33	12.78	49.66	52.83	57.58	61.97	60.58	69.70	76.23	77.25	80.39	81.12	82.54	88.75	NO	SI	DL	HA+TRANS+LINO2+PEG1	0.14	19.05	28.40	49.08	65.29	71.75	86.55	106.97	109.48	113.46	123.02	142.51	144.40	158.67	NO	SI	RC
HA+LONG+LINO1+PEG2	0.09	1.07	1.27	1.40	1.63	1.67	1.73	1.74	1.70	1.84	1.93	2.02	2.36	2.76	NO	SI	RC	HA+LONG+LINO2+PEG2	0.23	20.73	45.17	62.00	61.25	63.95	70.13	76.24	83.13	83.86	85.96	90.20	90.70	91.05	NO	SI	DL
HA+TRANS+LINO1+PEG2	0.29	8.76	35.83	43.53	54.96	66.15	71.32	75.77	82.55	82.47	98.43	107.68	115.01	115.66	NO	SI	DL	HA+TRANS+LINO2+PEG2	0.29	8.76	35.83	43.53	54.96	66.15	71.32	75.77	82.55	82.47	98.43	107.68	115.01	115.66	NO	SI	DL



H. Anexo: Registro ensayo experimento selección

PROYECTO	CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIGROMÓRFICO DE UN MATERIAL BICAPA COMPUESTO DE MADERA Y FIBRA DE LINO FRENTE A CAMBIOS DE HUMEDAD RELATIVA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, DESDE LA APLICACIÓN DE PROCESOS BIOMIMÉTICOS.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA
ASESOR	ARQ. DAVID SEBASTIAN PÉREZ CABRERA

PROBETA	HA+LINO2+PEG1	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray
----------------	---------------	--------------------	----------------	------------------------	----------------------

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	LONGITUDINAL
ESPEJOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	0,4374621681%
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEJOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439%

MEDICIÓN (h)	DISPOSITIVO		CÁMARA		PROBETA 01		PROBETA 02		PROBETA 03		PROMEDIO
	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)	RADIO (mm)	DEFORMACIÓN (m-1)	RADIO (mm)	DEFORMACIÓN (m-1)	RADIO (mm)	DEFORMACIÓN (m-1)	
0	82	21	88,20	20,00	6.984,23	0,14	3.083,34	0,32	4.124,72	0,24	0,24
0.5	81	23	87,40	21,50	830,49	1,20	778,13	1,29	742,53	1,35	1,28
1	81	32	86,50	30,10	711,03	1,41	658,67	1,52	623,07	1,60	1,51
1.5	83	33	88,50	32,00	705,95	1,42	653,59	1,53	617,99	1,62	1,52
2	83	32	89,30	31,00	629,15	1,59	576,79	1,73	541,19	1,85	1,72
2.5	84	34	89,60	32,40	531,89	1,88	479,53	2,09	443,93	2,25	2,07
3	83	35	89,40	34,00	530,21	1,89	477,85	2,09	442,25	2,26	2,08
3.5	84	35	90,10	34,00	526,90	1,90	474,54	2,11	438,94	2,28	2,09
4	84	35	90,20	33,70	583,42	1,71	531,06	1,88	495,46	2,02	1,87
4.5	84	35	90,10	34,00	522,11	1,92	469,75	2,13	434,15	2,30	2,12
5	83	35	89,30	34,00	518,29	1,93	465,93	2,15	430,33	2,32	2,13
5.5	84	30	90,00	29,00	499,65	2,00	447,29	2,24	411,69	2,43	2,22
6	81	29	86,50	28,00	458,12	2,18	405,76	2,46	370,16	2,70	2,45
6.5	77	32	83,20	31,00	417,09	2,40	364,73	2,74	329,13	3,04	2,73
7	76	33	82,10	32,00	415,84	2,40	363,48	2,75	327,88	3,05	2,74
7.5	73	33	78,60	32,00	415,69	2,41	363,33	2,75	327,73	3,05	2,74
8	70	33	76,10	31,50	392,68	2,55	340,32	2,94	304,72	3,28	2,92
8.5	73	33	79,20	32,00	383,36	2,61	331,00	3,02	295,40	3,39	3,00
9	77	33	83,40	32,00	380,02	2,63	327,66	3,05	292,06	3,42	3,04
9.5	84	33	89,60	32,00	372,98	2,68	320,62	3,12	285,02	3,51	3,10
10	84	38	90,30	37,00	369,69	2,70	317,33	3,15	281,73	3,55	3,14
10.5	85	36	90,60	34,50	342,38	2,92	290,02	3,45	254,42	3,93	3,43
11	85	30	90,50	29,00	351,89	2,84	269,53	3,71	233,93	4,27	3,61
11.5	83	31	88,60	30,00	320,99	3,12	268,63	3,72	213,03	4,69	3,84
12	79	31	85,40	30,00	302,29	3,31	249,93	4,00	214,33	4,67	3,99
12.5	59	17			332,21	3,01	279,85	3,57	244,25	4,09	3,56
13	58	20			367,12	2,72	314,76	3,18	279,16	3,58	3,16
13.5	59	18			358,15	2,79	305,79	3,27	270,19	3,70	3,25
14	59	18			411,02	2,43	358,66	2,79	323,06	3,10	2,77
14.5	58	19			479,03	2,09	426,67	2,34	391,07	2,56	2,33
15	47	16			672,12	1,49	619,76	1,61	584,16	1,71	1,60
15.5	48	16			668,11	1,50	615,75	1,62	580,15	1,72	1,61
16	46	16			674,16	1,48	621,80	1,61	586,20	1,71	1,60
16.5	46	19			644,66	1,55	592,30	1,69	556,70	1,80	1,68
17	46	19			690,04	1,45	637,68	1,57	602,08	1,66	1,56
17.5	47	19			712,55	1,40	660,19	1,51	624,59	1,60	1,51
18	50	19			741,26	1,35	688,90	1,45	653,30	1,53	1,44
18.5	51	19			750,65	1,33	698,29	1,43	662,69	1,51	1,42
19	53	17			770,26	1,30	717,90	1,39	682,30	1,47	1,39
19.5	55	17			725,36	1,38	673,00	1,49	637,40	1,57	1,48
20	52	17			815,38	1,23	763,02	1,31	727,42	1,37	1,30
20.5	52	17			930,52	1,07	878,16	1,14	842,56	1,19	1,13
21	52	18			1.012,01	0,99	959,65	1,04	924,05	1,08	1,04
21.5	52	18			1.113,14	0,90	1.060,78	0,94	1.025,18	0,98	0,94
22	52	19			1.120,65	0,89	1.068,29	0,94	1.032,69	0,97	0,93
22.5	48	19			2.310,02	0,43	2.257,66	0,44	2.222,06	0,45	0,44
23	49	19			3.250,03	0,31	3.197,67	0,31	3.162,07	0,32	0,31
23.5	51	19			4.136,12	0,24	4.083,76	0,24	4.048,16	0,25	0,24
24	51	19			5.012,32	0,20	4.959,96	0,20	4.924,36	0,20	0,20
24.5	83	29	88,50	27,50	1.414,49	0,71	1.362,13	0,73	1.326,53	0,75	0,73
25	83	32	89,30	30,50	1.046,29	0,96	993,93	1,01	958,33	1,04	1,00
25.5	84	35	89,60	33,10	821,95	1,22	769,59	1,30	733,99	1,36	1,29
26	83	34	89,40	33,00	703,35	1,42	650,99	1,54	615,39	1,62	1,53
26.5	84	34	90,10	33,00	665,15	1,50	612,79	1,63	577,19	1,73	1,62
27	84	34	90,20	32,40	631,89	1,58	579,53	1,73	543,93	1,84	1,72
27.5	84	34	90,10	33,00	628,21	1,59	575,85	1,74	540,25	1,85	1,73
28	84	34	89,50	33,00	558,90	1,79	506,54	1,97	470,94	2,12	1,96
28.5	82	34	87,60	32,70	547,32	1,83	494,96	2,02	459,36	2,18	2,01
29	77	25	83,20	24,00	524,63	1,91	472,27	2,12	436,67	2,29	2,10
29.5	76	26	82,10	25,00	516,54	1,94	464,18	2,15	428,58	2,33	2,14
30	73	27	78,60	26,00	499,65	2,00	447,29	2,24	411,69	2,43	2,22
30.5	70	28	76,10	27,00	483,12	2,07	430,76	2,32	395,16	2,53	2,31
31	81	30	87,40	29,00	476,09	2,10	423,73	2,36	388,13	2,58	2,35
31.5	81	32	86,50	31,00	447,84	2,23	395,48	2,53	359,88	2,78	2,51
32	69	32	75,00	31,00	480,69	2,08	428,33	2,33	392,73	2,55	2,32
32.5	83	32	89,30	30,50	439,68	2,27	387,32	2,58	351,72	2,84	2,57
33	71	32	77,00	31,00	479,36	2,09	427,00	2,34	391,40	2,55	2,33
33.5	83	36	89,40	35,00	385,16	2,60	332,80	3,00	297,20	3,36	2,99
34	84	35	90,10	34,00	372,98	2,68	320,62	3,12	285,02	3,51	3,10
34.5	84	36	90,20	35,00	345,26	2,90	292,90	3,41	257,30	3,89	3,40
35	83	34	89,10	32,50	339,69	2,94	287,33	3,48	251,73	3,97	3,47
35.5	82	31	88,30	30,00	320,18	3,12	267,82	3,73	232,22	4,31	3,72
36	82	31	88,30	30,00	315,68	3,17	263,32	3,80	227,72	4,39	3,79
36.5	47	16			379,46	2,64	327,10	3,06	291,50	3,43	3,04
37	50	17			423,12	2,36	370,76	2,70	335,16	2,98	2,68
37.5	51	15			456,15	2,19	403,79	2,48	368,19	2,72	2,46
38	53	15			456,02	2,19	403,66	2,48	368,06	2,72	2,46
38.5	55	17			515,03	1,94	462,67	2,16	427,07	2,34	2,15
39	52	17			717,12	1,39	664,76	1,50	629,16	1,59	1,50
39.5	52	17			766,11	1,31	713,75	1,40	678,15	1,47	1,39
40	52	17			706,16	1,42	653,80	1,53	618,20	1,62	1,52
40.5	52	17			691,91	1,45	639,55	1,56	603,95	1,66	1,55
41	55	17			752,39	1,33	700,03	1,43	664,43	1,51	1,42
41.5	57	18			810,80	1,23	758,44	1,32	722,84	1,38	1,31
42	58	18			806,49	1,24	754,13	1,33	718,53	1,39	1,32
42.5	59	18			815,77	1,23	763,41	1,31	727,81	1,37	1,30
43	59	18			829,26	1,21	776,90	1,29	741,30	1,35	1,28
43.5	58	18			757,36	1,32	705,00	1,42	669,40	1,49	1,41
44	47	18			871,38	1,15	819,02	1,22	783,42	1,28	1,22
44.5	48	16			1.027,52	0,97	975,16	1,03	939,56	1,06	1,02
45	49	15			1.077,01	0,93	1.024,65	0,98	989,05	1,01	0,97
45.5	51	17			1.178,14	0,85	1.125,78	0,89	1.090,18	0,92	0,88
46	51	16			1.185,65	0,84	1.133,29	0,88	1.097,69	0,91	0,88
46.5	52	16			2.342,02	0,43	2.289,66	0,44	2.254,06	0,44	0,44
47	52	16			3.261,03	0,31	3.208,67	0,31	3.173,07	0,32	0,31
47.5	51	16			4.158,12	0,24	4.105,76	0,24	4.070,16	0,25	0,24
48	50	16			5.044,32	0,20	4.991,96	0,20	4.956,36	0,20	0,20

PROYECTO	CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIGROMÓRFICO DE UN MATERIAL BICAPA COMPUESTO DE MADERA Y FIBRA DE LINO FRENTE A CAMBIOS DE HUMEDAD RELATIVA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, DESDE LA APLICACIÓN DE PROCESOS BIOMIMÉTICOS.
ESTUDIANTE	ARQ. DANNA MARCELA AVILA RODRÍGUEZ
DIRECTOR	ARQ. JORGE ENRIQUE LOZANO PEÑA
ASESOR	ARQ. DAVID SEBASTIAN PÉREZ CABRERA

PROBETA	SA+LINO2+PEG2	DIMENSIONES	20 mm X 100 mm	MATRIZ DE UNION	Soudal contact spray
----------------	---------------	--------------------	----------------	------------------------	----------------------

ESPECIE MADERA	HAYA	SENTIDO DE LA FIBRA	TRANVERSAL
ESPEOR (mm)	0,55	INDICE HIGROEXPANSION (α)	11,3001148%
TIPO DE LINO	LINO ORGÁNICO MIXTO	SENTIDO DE LA FIBRA	RETICULAR
ESPEOR (mm)	0,06	INDICE HIGROEXPANSION (α)	15,2146439%

MEDICIÓN (h)	DISPOSITIVO		CÁMARA		PROBETA 01		PROBETA 02		PROBETA 03		PROMEDIO
	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)	RADIO (mm)	DEFORMACIÓN (m-1)	RADIO (mm)	DEFORMACIÓN (m-1)	RADIO (mm)	DEFORMACIÓN (m-1)	
0	82	21	88,20	20,00	5.326,14	0,19	1.425,25	0,70	3.145,14	0,32	0,40
0,5	81	23	87,40	21,50	122,49	8,16	108,95	9,18	95,61	10,46	9,27
1	81	32	86,50	30,10	94,29	10,61	80,75	12,38	112,15	8,92	10,64
1,5	83	33	88,50	32,00	65,95	15,16	52,41	19,08	90,54	11,04	15,10
2	83	32	89,30	31,00	45,35	22,05	31,81	31,44	64,13	15,59	23,03
2,5	84	34	89,60	32,40	31,69	31,56	24,65	40,57	32,15	31,10	34,41
3	83	35	89,40	34,00	30,90	32,36	25,15	39,76	20,11	49,73	40,62
3,5	84	35	90,10	34,00	26,90	37,17	25,70	38,91	19,48	51,33	42,47
4	84	35	90,20	33,70	20,50	48,78	19,30	51,81	20,65	48,43	49,67
4,5	84	35	90,10	34,00	22,30	44,84	21,10	47,39	19,99	50,03	47,42
5	83	35	89,30	34,00	21,89	45,68	20,69	48,33	17,52	57,08	50,36
5,5	84	30	90,00	29,00	19,65	50,89	18,45	54,20	16,54	60,46	55,18
6	81	29	86,50	28,00	18,02	55,49	16,82	59,45	17,84	56,05	57,00
6,5	77	32	83,20	31,00	17,69	56,53	16,49	60,64	16,21	61,69	59,62
7	76	33	82,10	32,00	15,84	63,13	14,64	68,31	14,54	68,78	66,74
7,5	73	33	78,60	32,00	15,69	63,73	14,49	69,01	12,58	79,49	70,75
8	70	33	76,10	31,50	12,68	78,86	11,48	87,11	12,11	82,58	82,85
8,5	73	33	79,20	32,00	14,36	69,64	13,16	75,99	9,99	100,10	81,91
9	77	33	83,40	32,00	13,02	76,80	11,82	84,60	10,02	99,80	87,07
9,5	84	33	89,60	32,00	12,98	77,04	11,78	84,89	9,84	101,63	87,85
10	84	38	90,30	37,00	12,69	78,80	11,49	87,03	8,89	112,49	92,77
10,5	85	36	90,60	34,50	10,68	93,63	9,48	105,49	8,45	118,34	105,82
11	85	30	90,50	29,00	11,20	89,29	10,00	100,00	8,15	122,70	104,00
11,5	83	31	88,60	30,00	10,99	90,99	9,79	102,15	8,65	115,61	102,91
12	79	31	85,40	30,00	10,50	95,24	9,30	107,53	8,99	111,23	104,67
12,5	59	17			189,32	5,28	134,32	7,44	79,32	12,61	8,44
13	58	20			265,15	3,77	190,15	5,26	115,15	8,68	5,90
13,5	59	18			358,25	2,79	243,25	4,11	128,25	7,80	4,90
14	59	18			485,32	2,06	430,32	2,32	375,32	2,66	2,35
14,5	58	19			499,21	2,00	444,21	2,25	389,21	2,57	2,27
15	47	16			312,12	3,20	257,12	3,89	202,12	4,95	4,01
15,5	48	16			368,45	2,71	273,45	3,66	178,45	5,60	3,99
16	46	16			394,26	2,54	339,26	2,95	284,26	3,52	3,00
16,5	46	19			399,16	2,51	344,16	2,91	289,16	3,46	2,96
17	46	19			411,16	2,43	356,16	2,81	301,16	3,32	2,85
17,5	47	19			432,65	2,31	377,65	2,65	322,65	3,10	2,69
18	50	19			443,26	2,26	388,26	2,58	333,26	3,00	2,61
18,5	51	19			450,65	2,22	395,65	2,53	340,65	2,94	2,56
19	53	17			470,26	2,13	415,26	2,41	360,26	2,78	2,44
19,5	55	17			625,36	1,60	570,36	1,75	515,36	1,94	1,76
20	52	17			715,38	1,40	660,38	1,51	605,38	1,65	1,52
20,5	52	17			860,52	1,16	805,52	1,24	750,52	1,33	1,25
21	52	18			912,11	1,10	857,11	1,17	802,11	1,25	1,17
21,5	52	18			1.123,14	0,89	1.068,14	0,94	1.013,14	0,99	0,94
22	52	19			1.530,65	0,65	1.475,65	0,68	1.420,65	0,70	0,68
22,5	48	19			1.540,12	0,65	1.485,12	0,67	1.430,12	0,70	0,67
23	49	19			2.550,63	0,39	2.495,63	0,40	2.440,63	0,41	0,40
23,5	51	19			3.556,12	0,28	2.501,12	0,40	2.598,25	0,38	0,36
24	51	19			4.499,12	0,22	2.844,12	0,35	3.258,59	0,31	0,29
24,5	83	29	88,50	27,50	90,49	11,05	83,13	12,03	231,25	4,32	9,14
25	83	32	89,30	30,50	62,29	16,05	60,17	16,62	191,65	5,22	12,63
25,5	84	35	89,60	33,10	49,95	20,02	47,83	20,91	101,15	9,89	16,94
26	83	34	89,40	33,00	42,35	23,61	40,23	24,86	90,54	11,04	19,84
26,5	84	34	90,10	33,00	31,69	31,56	29,57	33,82	72,13	13,86	26,41
27	84	34	90,20	32,40	30,90	32,36	28,78	34,75	41,05	24,36	30,49
27,5	84	34	90,10	33,00	26,90	37,17	24,78	40,36	20,11	49,73	42,42
28	84	34	89,50	33,00	20,50	48,78	18,38	54,41	19,48	51,33	51,51
28,5	82	34	87,60	32,70	22,30	44,84	20,18	49,55	20,65	48,43	47,61
29	77	25	83,20	24,00	21,89	45,68	19,77	50,58	19,99	50,03	48,76
29,5	76	26	82,10	25,00	19,65	50,89	17,53	57,05	18,52	54,00	53,98
30	73	27	78,60	26,00	18,02	55,49	15,90	62,89	18,54	53,94	57,44
30,5	70	28	76,10	27,00	16,39	61,01	14,27	70,08	17,84	56,05	62,38
31	81	30	87,40	29,00	15,84	63,13	13,72	72,89	16,21	61,69	65,90
31,5	81	32	86,50	31,00	15,69	63,73	13,57	73,69	13,54	73,86	70,43
32	69	32	75,00	31,00	12,68	78,86	10,56	94,70	12,58	79,49	84,35
32,5	83	32	89,30	30,50	13,16	75,99	11,04	90,58	10,11	98,91	88,49
33	71	32	77,00	31,00	13,02	76,80	10,90	91,74	9,99	100,10	89,55
33,5	83	36	89,40	35,00	12,08	82,78	9,96	100,40	9,02	110,86	98,02
34	84	35	90,10	34,00	11,69	85,54	9,57	104,49	8,84	113,12	101,05
34,5	84	36	90,20	35,00	10,18	98,23	8,06	124,07	7,63	131,06	117,79
35	83	34	89,10	32,50	10,20	98,04	8,08	123,76	7,45	134,23	118,68
35,5	82	31	88,30	30,00	9,99	100,10	7,87	127,06	6,12	163,40	130,19
36	82	31	88,30	30,00	9,50	105,26	7,38	135,50	6,10	163,93	134,90
36,5	47	16			99,11	10,09	44,11	22,67	10,89	91,83	41,53
37	50	17			135,15	7,40	60,15	16,63	14,85	67,34	30,45
37,5	51	15			312,14	3,20	197,14	5,07	82,14	12,17	6,82
38	53	15			485,32	2,06	430,32	2,32	375,32	2,66	2,35
38,5	55	17			512,21	1,95	457,21	2,19	402,21	2,49	2,21
39	52	17			401,05	2,49	346,05	2,89	291,05	3,44	2,94
39,5	52	17			418,26	2,39	323,26	3,09	228,26	4,38	3,29
40	52	17			414,16	2,41	359,16	2,78	304,16	3,29	2,83
40,5	52	17			399,16	2,51	344,16	2,91	289,16	3,46	2,96
41	55	17			401,11	2,49	346,11	2,89	291,11	3,44	2,94
41,5	57	18			411,65	2,43	356,65	2,80	301,65	3,32	2,85
42	58	18			501,26	1,99	446,26	2,24	391,26	2,56	2,26
42,5	59	18			550,65	1,82	495,65	2,02	440,65	2,27	2,03
43	59	18			520,26	1,92	465,26	2,15	410,26	2,44	2,17
43,5	58	18			612,36	1,63	557,36	1,79	502,36	1,99	1,81
44	47	18			647,17	1,55	592,17	1,69	537,17	1,86	1,70
44,5	48	16			730,52	1,37	675,52	1,48	620,52	1,61	1,49
45	49	15			912,11	1,10	857,11	1,17	802,11	1,25	1,17
45,5	51	17			1.123,14	0,89	1.068,14	0,94	1.013,14	0,99	0,94
46	51	16			1.530,65	0,65	1.475,65	0,68	1.420,65	0,70	0,68
46,5	52	16			2.150,12	0,47	2.095,12	0,48	2.020,12	0,50	0,48
47	52	16			4.150,63	0,24	4.095,63	0,24	1.587,25	0,63	0,37
47,5	51	16			5.028,12	0,20	3.973,12	0,25	2.008,25	0,50	0,32
48	50	16			5.129,12	0,19	3.474,12	0,29	3.058,59	0,33	0,27