

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**EFFECTO DEL INTEMPERISMO  
ACELERADO EN LAS PROPIEDADES  
FÍSICO-MECÁNICAS DE COMPUESTOS  
PLÁSTICO-BAMBÚ.**

Presentado por:

**Efraín Ricardo Suárez Landeo**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL

---

Lima - Perú  
2016

# *DEDICATORIA*

*A Milagro, Alberto y Daniel*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al PhD. Héctor Enrique Gonzales Mora por aceptar ser el asesor principal de la presente tesis, quien con gran profesionalismo ha sabido impartir sus conocimientos, le agradezco la confianza, paciencia, consejos y tiempo invertido para la culminación de la misma.*

*A Mg. Sc. Aldo Cárdenas del Centro de Innovación Tecnológica de la Madera, por sus consejos y apoyo.*

*Al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad, INNOVATE PERÚ, por apoyar y financiar parte de la investigación con el proyecto 414-PNICP-PIAP-2014; así mismo, a mi alma mater la Universidad Nacional Agraria La Molina, especialmente a mi Facultad Ciencias Forestales por ser parte de esta investigación.*

*A la profesora Deysi Guzmán Loayza, por la confianza otorgada.*

*A todos los amigos que conocí durante el desarrollo de la tesis y quienes me han brindado su generosa ayuda: Ana Altéz, Ikeda Lora, Karen Lázaro, Jorge Luis Cornejo, Erick Suárez, Jimmy Hidalgo, Enrique Cabrera, Marco Panduro y Carlos Rojas.*

*Al Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), en especial al Ing. Javier Gago por su colaboración.*

## *RESUMEN*

Los compuestos plástico bambú son cada vez más utilizados en exteriores, por lo tanto su tiempo de servicio dependerá de la resistencia al medioambiente que pueda ofrecer y con ese fin se han probado diferentes combinaciones de materiales y aditivos tratando de conseguir una mayor oposición al deterioro principalmente causado por los rayos UV. En este trabajo se sometieron a pruebas de intemperismo acelerado en cámara QUV compuestos de polipropileno y partículas de bambú (*Guadua angustifolia*). Fueron probadas dos temperaturas de 60°C y 70 °C y dos radiaciones con picos de 0,89 W/m<sup>2</sup>/nm y 1,55 W/m<sup>2</sup>/nm , según las condiciones permitidas por la configuración del equipo, en un periodo de 500 horas. Los compuestos fueron evaluados en dos proporciones de mezcla polipropileno/partículas de bambú: 50/50 y 70/30, y el efecto del intemperismo se midió al evaluar sus propiedades físicas de contenido de humedad, densidad, absorción e hinchamiento. También a través de sus propiedades mecánicas de tensión, flexión e impacto y sus variaciones de claridad  $L^*$  y variación global de color  $\Delta E$ . Los resultados mostraron que los compuestos que sufren la mayor degradación en sus propiedades físicas y mecánicas fueron los elaborados en proporción 50/50 y que resulta indistinto utilizar cualquiera de las condiciones de exposición programadas en la cámara.

Palabras clave: Color, flexión, hinchamiento, temperatura, tensión, rayos UV.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
RESUMEN .....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XI
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>1. GENERALIDADES SOBRE COMPUESTOS PLÁSTICO-MATERIAL LIGNOCELULÓSICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. PRINCIPALES USOS DE LOS COMPUESTOS PLÁSTICO- MATERIAL LIGNOCELULÓSICO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS DE LOS COMPUESTOS PLÁSTICO-BAMBÚ .....</b>	<b>4</b>
3.1. <i>La guadúa angustifolia .....</i>	<i>4</i>
3.2. <i>Características favorables para la utilización del bambú en compuestos.....</i>	<i>5</i>
3.3. <i>EL POLIPROPILENO (PP) .....</i>	<i>5</i>
3.4. <i>el polipropileno como matriz plástica del compuesto plástico-fibra vegetal.....</i>	<i>6</i>
<b>4. EL INTEMPERISMO EN LOS COMPUESTOS.....</b>	<b>6</b>
<b>5. PRINCIPALES AGENTES DE DETERIORO DE LOS WPC.....</b>	<b>8</b>
5.1. <i>humedad .....</i>	<i>8</i>
5.2. <i>temperatura.....</i>	<i>9</i>
5.3. <i>rayos uv .....</i>	<i>9</i>
<b>6. PRUEBAS DE INTEMPERISMO ACELERADO.....</b>	<b>11</b>
<b>7. CÁMARA DE INTEMPERISMO ACELERADO .....</b>	<b>14</b>
<b>8. TEORÍA DEL COLOR / VALORES CIE .....</b>	<b>16</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
<b>1. LUGAR.....</b>	<b>18</b>
<b>2. MATERIAS PRIMAS .....</b>	<b>18</b>
2.1. <i>Partículas de bambú .....</i>	<i>18</i>
2.2. <i>Agente acoplante.....</i>	<i>19</i>
<b>3. LISTA DE MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS .....</b>	<b>19</b>
3.1. <i>Materiales .....</i>	<i>19</i>
3.2. <i>Equipos .....</i>	<i>20</i>
<b>4. MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
4.1. <i>preparación de la materia prima.....</i>	<i>21</i>
4.2. <i>Elaboración de tableros .....</i>	<i>22</i>
4.3. <i>características del producto obtenido.....</i>	<i>24</i>

4.4.	<i>exposición de probetas a intemperismo acelerado</i>	25
4.5.	<i>Variables respuesta</i>	28
4.6.	<i>análisis estadístico</i>	29
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>32</b>
<b>1.</b>	<b>RADIACIÓN EMITIDA POR LA CÁMARA EN CADA TRATAMIENTO</b>	<b>33</b>
<b>2.</b>	<b>CAMBIOS DE CLARIDAD “L” Y DIFERENCIA DE COLOR “ΔE”</b>	<b>35</b>
<b>3.</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	<b>41</b>
3.1.	<i>densidad</i>	41
3.2.	<i>CONTENIDO DE HUMEDAD (C.H. %)</i>	42
3.3.	<i>ABSORCIÓN DE AGUA</i>	44
3.4.	<i>HINCHAMIENTO</i>	46
<b>4.</b>	<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>	<b>48</b>
4.1.	<i>TENSIÓN</i>	48
4.2.	<i>FLEXIÓN</i>	50
4.3.	<i>IMPACTO</i>	54
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>57</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>58</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>59</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>65</b>

## Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Rango de longitud de onda para tipos de fluorescentes usados en pruebas de intemperismo acelerado. ....	14
Tabla 2: Propiedades físico-mecánicas para los tableros plástico/bambú obtenidos por compresión .....	25
Tabla 3: Condiciones de exposición programado en la cámara QUV para los cuatro tratamientos. ....	26
Tabla 4: Dimensiones de los especímenes de compuestos plástico-bambú para ensayos de intemperismo artificial. ....	27
Tabla 5: Diseño experimental (DBCA) de los tratamientos empleados para la evaluación de las propiedades físico-mecánicas del material compuesto. ....	29
Tabla 6: Resumen de las propiedades físico-mecánicas después de 500 horas de intemperismo artificial .....	33
Tabla 7: Radiación total a las que fueron expuestas los compuestos plástico/bambú por tratamiento.....	34
Tabla 8: Energía solar incidente diaria en tres regiones del Perú.....	34
Tabla 9: Valores de L alcanzados después de 500 horas en cámara QUV-SE por tratamiento y por proporción de mezcla. ....	35
Tabla 10: Porcentaje de variación de la claridad después de 500 horas en cámara QUV-SE por tratamiento y por proporción de mezcla.....	35
Tabla 11: Valores $\Delta E$ alcanzados después de 500 horas en cámara QUV-SE por tratamiento de temperatura y radiación y por proporción de mezcla. ....	36
Tabla 12: Porcentaje de variación de resistencia máxima MOR en tensión después de 500 horas de intemperismo acelerado.....	49
Tabla 13: Porcentaje de variación del módulo de elasticidad MOE en tensión después de 500 horas de intemperismo acelerado.....	50
Tabla 14: Aumento en porcentajes de MOR en flexión para los compuestos en dos proporciones después de 500 horas de intemperismo acelerado. ....	51
Tabla 15: Aumento en porcentajes de MOE en flexión para los compuestos en dos proporciones después de 500 horas de intemperismo acelerado. ....	53

## Índice de figuras

	Página
Figura 1: Distribución de poder espectral de fluorescentes UVA-340 (Q-lab 2012) .....	15
Figura 2: Diagrama de espacios de color CIE (L*a*b*).....	17
Figura 3: Partes comerciales de <i>G. angustifolia</i> .....	19
Figura 4: Diagrama de flujo del proceso de obtención de partículas .....	22
Figura 5: Extrusora de usillo simple.....	23
Figura 6: Prensa hidráulica de vulcanizado de caucho de 60 T.....	23
Figura 7: Cortadora láser CAMFIVE CFL-CMA 1616 en pleno proceso de corte de un tablero .....	24
Figura 8: Superficie del tablero resultante plástico/bambú con espacios discontinuos. ....	24
Figura 9: Secciones transversales de los tableros resultantes conteniendo espacios vacíos. ....	25
Figura 10: Probetas de compuesto plástico/bambú para los ensayos: a) Físicos, b) Impacto, c) Tensión, d) Flexión.....	26
Figura 11: Montaje de las probetas de ensayo de compuestos: a) Probetas montadas en los portamuestras b) Portamuestras con probetas montadas en la cámara QUV-SE. ....	28
Figura 12: Variación de color ( $\Delta E$ ) para T1=60°C y R1=0,89 W/m <sup>2</sup> /nm para dos proporciones de compuestos PP/bambú y PP puro después de 500 horas en cámara QUV.....	38
Figura 13: Variación de color ( $\Delta E$ ) para T1=60 °C y R2=1,55 W/m <sup>2</sup> /nm para dos proporciones de compuestos PP/bambú y PP puro después de 500 horas en cámara QUV.....	38
Figura 14: Variación de color ( $\Delta E$ ) para T2=70°C y R2=1,55 W/m <sup>2</sup> /nm para dos proporciones de compuestos PP/bambú y PP puro después de 500 horas en cámara QUV.....	39
Figura 15: Variación de color ( $\Delta E$ ) para T2=70 °C y R1=0,89 W/m <sup>2</sup> /nm para dos proporciones de compuestos PP/bambú y PP puro después de 500 horas en cámara QUV.....	39
Figura 16: Probetas expuestas en cámara QUV-SE antes y después de las 500 horas de exposición. A la izquierda: proporción 70/30;centro: proporción 50/50 ; derecha: Polipropileno puro.....	40
Figura 17: Valores de densidad alcanzados por compuestos en dos proporciones 50/50, 70/30 y PP al 100 por ciento después de 500 horas con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado.....	41

Figura 18:	Contenido de humedad (%) alcanzados por compuestos en dos proporciones 50/50 , 70/30 después de 500 horas con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado. ....	43
Figura 19:	Absorción de agua a las 2 horas para dos proporciones de mezcla después de 500 horas en cámara QUV con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado. ....	45
Figura 20:	Absorción de agua a las 24 horas para dos proporciones de mezcla después de 500 horas en cámara QUV con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado. ....	45
Figura 21:	Hinchamiento a las 2 horas para dos proporciones de mezcla después de 500 horas en cámara QUV con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado. ....	47
Figura 22:	Hinchamiento a las 24 horas para dos proporciones de mezcla después de 500 horas en cámara QUV con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado. ....	47
Figura 23:	Resistencia máxima en tensión para dos proporciones de mezcla después de 500 horas de intemperismo acelerado. ....	48
Figura 24:	Módulo de elasticidad en tensión para dos proporciones de mezcla después de 500 horas de intemperismo acelerado. ....	49
Figura 25:	Resistencia máxima en flexión para dos proporciones de mezcla después de 500 horas de intemperismo acelerado. ....	51
Figura 26:	Módulo de elasticidad en flexión para dos proporciones de mezcla después de 500 horas de intemperismo acelerado. ....	52
Figura 27:	Resistencia al impacto para dos proporciones de compuestos plástico-bambú después de 500 horas de intemperismo acelerado. ....	55

## *Índice de anexos*

	Página
Anexo 1 ANVA $\Delta E$ .....	65
Anexo 2 ANVA DENSIDAD.....	67
Anexo 3 ANVA CONTENIDO DE HUMEDAD.....	69
Anexo 4 ANVA ABSORCIÓN.....	71
Anexo 5 ANVA HINCHAMIENTO.....	72
Anexo 6 ANVA TENSIÓN MOR.....	74
Anexo 7 ANVA TENSIÓN MOE.....	76
Anexo 8 ANVA FLEXIÓN MOR.....	77
Anexo 9 ANVA FLEXIÓN MOE.....	79
Anexo 10 ANVA IMPACTO.....	81
Anexo 11 DATA PARA COLORIMETRÍA.....	82
Anexo 12 DATOS PARA CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD.....	94
Anexo 13 DATOS PARA ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO.....	107
Anexo 14 PRUEBAS DE TENSIÓN.....	115
Anexo 15 PRUEBAS DE FLEXIÓN.....	123
Anexo 16 pRUEBAS DE IMPACTO.....	131

## I. INTRODUCCIÓN

Los compuestos plástico-madera son materiales que tienen cada vez nuevas aplicaciones y su demanda va en aumento; la ventaja de estos productos está en la utilización de fibra vegetal lo cual permite reducir costos de producción, además de mejorar sus propiedades físico-mecánicas y ser un producto ecológico que puede utilizar plástico reciclado y fibras procedentes de recursos renovables (Klyosov 2007).

Estos compuestos plástico-madera o WPC's (Wood plastic composites) utilizan en su fabricación diferentes poliolefinas dentro de ellas el polipropileno. Este polímero es uno de los más utilizados en la industria del plástico para empaques, envases, electrodomésticos, etc. y cuya producción aumenta año tras año generando importantes cantidades de residuos (Expoplast 2014). También utilizan como refuerzo fibras que pueden tener origen mineral u origen vegetal.

Los productos fabricados con compuestos plástico-madera como por ejemplo el decking, marcos para puertas y ventanas, barandas, interiores de automóviles, revestimientos, etc., inicialmente se creían que eran perdurables en exteriores. Sin embargo, al estar expuestos al aire libre, se evidenció que sufren deterioro con el paso del tiempo, lo cual se nota en la decoloración, agrietamiento, hinchamiento, debilitamiento de la interfaz plástico-madera y pérdida de sus propiedades físicas y mecánicas. Esto ha obligado que en la actualidad se prueben distintos tipos de fibras, proporciones de mezclas, métodos de fabricación y también aditivos antioxidantes y/o foto estabilizadores con la finalidad de prolongar la vida útil de dichos compuestos (Stark y Matuana 2004).

El efecto del deterioro ambiental puede ser medido siguiendo diferentes metodologías para o cual hay normas establecidas (como por ejemplo la ASTM D 1435); sin embargo, este tipo de pruebas pueden durar mucho tiempo, incluso años; por ello se utilizan cámaras de intemperismo acelerado. Estas cámaras simulan artificialmente los principales agentes de deterioro (la radiación UV, la temperatura y la humedad) y permite evaluar los efectos del intemperismo en un tiempo menor del que se necesitaría en condiciones naturales (Klyosov 2007).

En el presente trabajo el objetivo fue evaluar la respuesta de compuestos plástico-bambú en dos proporciones de mezcla 50/50 y 70/30 al intemperismo acelerado con dos tipos de radiación y dos temperaturas en ciclos de 500 horas. Los efectos de los tratamientos fueron evaluados por el cambio en sus propiedades físicas y mecánicas después del tiempo de exposición.

Se eligió la fibra del bambú ya que su fibra es más resistente y ligera en comparación con otras fibras vegetales (Kinoshita 2009). Particularmente, la fibra de la especie *Guadua agustifolia* Kunth favorece la adhesión con una matriz plástica por la forma irregular de la sección transversal y su textura superficial rugosa (Moreno *et al.* 2007). Además, se busca usos alternativos para los residuos del aprovechamiento de esta especie mediante el desarrollo de nuevos materiales.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1. GENERALIDADES SOBRE COMPUESTOS PLÁSTICO-MATERIAL LIGNOCELULÓSICO**

Los compuestos plástico-madera son un conglomerado de fibras de madera u otro material lignocelulósico unido a una matriz plástica, y las fases son integradas utilizando presión, temperatura y un agente acoplante. Los compuestos plástico-madera tienen la ventaja de ser productos amigables con el medio ambiente, reducen los costos de fabricación por utilizar materiales baratos que pueden proceder de residuos o productos reciclados, además los productos elaborados con estos compuestos a su vez pueden reciclarse.

Los compuestos plástico-madera exhiben propiedades específicas que son superiores a otros componentes elaborados sólo con plástico o sólo con madera (por ejemplo, mejora la resistencia a la abrasión, la resistencia al fuego, y la resistencia a la degradación e insectos). La madera es liviana, menos abrasiva y el uso en compuestos refuerza el termoplástico en cuanto a rigidez y mejora la estabilidad térmica (Forest Products Laboratory 2010).

### **2. PRINCIPALES USOS DE LOS COMPUESTOS PLÁSTICO-MATERIAL LIGNOCELULÓSICO**

Actualmente el mayor uso de los compuestos plástico-madera está en la fabricación de decking, inmobiliario, marcos de ventanas, revestimientos, tejas, etc. Además, en la industria automotriz su utilización ha ido en gran aumento al usarse en guanteras, paneles de puertas y pisos, tapicería de asientos, entre otros (Forest Laboratory Composites 2010).

El mercado de los compuestos plástico-madera está en franco crecimiento, cifras de la BCC Research<sup>1</sup> indican que la producción anual para el 2013 se calculó en 2,8 millones de toneladas métricas y estima que para el 2019 sería de 5,6 millones de toneladas métricas, siendo los mercados de construcción y automotriz los de mayor consumo.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS DE LOS COMPUESTOS PLÁSTICO-BAMBÚ

#### 3.1. LA GUADÚA ANGUSTIFOLIA

*Guadua angustifolia* Kunth es una especie endémica en América y se le considera como nativa de Colombia, Venezuela y Ecuador. La distribución de esta especie se da a lo largo de las zonas de vida: Bosque muy húmedo subtropical (bmh-ST), bosque húmedo subtropical (bh-ST), bosque seco tropical (bs-T) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB). Crece desde los 0 msnm hasta 2600 msnm, con temperaturas muy variables que van desde los 16 °C hasta los 36 °C, soporta alta humedad ambiental y es una especie exigente en suelos. Sus tallos llegan a tener un diámetro de entre 10 cm y 20 cm, y alcanzar una altura de 25 a 30 metros.

El mayor uso de sus cañas se da en la industria de la construcción por las propiedades físico mecánicas que posee. (Castaño 2004; Cruz 2009). Los países en Sud América donde se encuentran las principales extensiones de *G. angustifolia* son Colombia con 50 000 ha y Ecuador con 15 000 ha. En el Perú también se ha empezado con su cultivo, la mayor extensión bajo manejo es de 400 ha en Cajamarca, además de existir formaciones naturales de menores extensiones en la zona de Yunga a lo largo del territorio nacional (Perú Bambú 2009).

El tejido del culmo de *G. angustifolia* está compuesto por: la corteza, células de parénquima, haces vasculares y fibras. Las fibras aportan entre el 40 y 50 por ciento del total del tejido de la Guadua y entre el 60 y 70 por ciento de la masa. Comparativamente con otros bambúes tropicales y sub tropicales éste presenta un porcentaje de fibra relativamente alto, además el porcentaje de fibras es mayor en el segmento apical (56 por ciento) seguido por el segmento basal (29 por ciento) y luego por el segmento medio (26 por ciento). La relación entre la longitud y el ancho de las fibras varía entre 150:1 y 250:1; el valor medio de la longitud es de 1,6 mm (Cruz 2009).

El culmo de la *G. angustifolia* tiene una altísima resistencia debido a la estructura interna de la fibra la cual es única ya que posee paredes interiores alternadas en capas gruesas y delgadas con diferente orientación. Esta estructura interna, que no existe en fibras de madera común, se le denomina estructura polilaminar y aparece especialmente en las fibras ubicadas en la periferia del culmo y el número de capas alternadas o laminadas varía de fibra a fibra (Moreno *et al.* 2007).

### **3.2. CARACTERÍSTICAS FAVORABLES PARA LA UTILIZACIÓN DEL BAMBÚ EN COMPUESTOS**

Al relacionar las propiedades de la fibra de *G. angustifolia*, respecto a sus bondades para la elaboración de compuestos, con otras fibras se destaca que la forma de su sección transversal es de forma irregular y su textura superficial presenta rugosidades, lo que favorece la adhesión con una matriz plástica. En cuanto al contenido de humedad, la fibra de *G. angustifolia* presenta el porcentaje más bajo (7,1 por ciento) en comparación con fibras naturales como el fique, yute, lino, kenaf, cáñamo, algodón, ramio y ésta es una ventaja comparativa porque a menor contenido de humedad mayor posibilidad de adherencia entre el refuerzo o fibra y la matriz y mayor estabilidad dimensional. Además la densidad aparente de *G. angustifolia* es similar a la de las fibras naturales referidas, pero comparada con fibras sintéticas como la de vidrio, boro, carbono o kévlar es menor; un factor a tener en cuenta cuando se considere el peso de los compuestos (Moreno *et al.* 2007).

### **3.3. EL POLIPROPILENO (PP)**

El Polipropileno es un termoplástico (reblandece o funde por acción del calor), que es obtenido por la polimerización del propileno, un subproducto gaseoso de la refinación del petróleo en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión. El Polipropileno se puede clasificar en tres tipos: homopolímero, copolímero rándom y copolímero de alto impacto, los cuales pueden ser modificados y adaptados para determinados usos a través de múltiples técnicas de aditivación. Históricamente el polipropileno ha sido una de las resinas de mayor crecimiento alcanzando hoy en día el mayor consumo a nivel mundial entre todos los termoplásticos (Esenttia 2014).

Las principales aplicaciones del polipropileno se dan en la elaboración de bolsas y sacos para el envasado de grano, fertilizantes o verduras. Sus propiedades de transparencia, brillo, barrera a los gases y resistencia mecánica, son aprovechadas para el envasado de café, golosinas, cigarrillos y medicamentos. Por su rigidez, brillo y resistencia a la temperatura, es utilizado para fabricar baldes, recipientes, además de varias piezas para la industria automovilística (CONAMA 2014).

El polipropileno comercial estándar tiene un grado de cristalinidad intermedio entre el polietileno de alta y el de baja densidad; su módulo elástico también es intermedio, es menos duro que el PEAD (polietileno de alta densidad) y menos quebradizo, esto lo hace útil para reemplazar algunos plásticos de ingeniería como el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno). El

polipropileno presenta muy buena resistencia a la fatiga, por ello es que la mayoría de las estructuras que incluyen bisagras utilizan este material. Las propiedades dieléctricas del polipropileno son utilizadas en películas muy delgadas formando capacitores con un buen desempeño al reducir la conductividad (Colaboradores de Wikipedia 2016).

El polipropileno es de naturaleza apolar, su densidad está alrededor de 0,90 y 0,93 g/cm<sup>3</sup>, posee una gran capacidad de recuperación elástica y una gran resistencia al impacto Izod de 70 J/m (Quiminet 2006).

### **3.4. EL POLIPROPILENO COMO MATRIZ PLÁSTICA DEL COMPUESTO PLÁSTICO-FIBRA VEGETAL**

El polipropileno se constituye como la matriz en los compuestos plástico-madera, cumple las funciones de unión entre las fibras y actúa como un medio que transmite y distribuye las fuerzas (sólo una pequeña fracción del esfuerzo total aplicado es resistida por la matriz). Además, protege a las fibras del deterioro ambiental, y en virtud de su plasticidad impide la propagación de grietas (Lucana 2008).

## **4. EL INTEMPERISMO EN LOS COMPUESTOS**

“El intemperismo es una combinación de foto degradación en presencia de humedad y calor. Esta acción permite que las reacciones de oxidación sean aceleradas facilitando la absorción de la luz UV y por ende la degradación de la madera. Teóricamente el plástico no es susceptible a la degradación por rayos UV, sin embargo, los residuos de los polímeros y la madera foto oxidada podrían ocasionar una mayor sensibilidad de los componentes de la matriz polimérica a la degradación” (Cárdenas 2012).

La fotodegradación es originada principalmente por los rayos UV, cuya energía actúa directamente sobre los enlaces químicos de los polímeros modificando la conformación de su estructura (Fabiya 2011).

El envejecimiento es el resultado de los efectos del intemperismo, que por lo general implica un cambio químico que conlleva a un cambio físico. Es un concepto relacionado con el tiempo de vida útil (Herrera *et al.* 2013).

Con las pruebas de intemperismo acelerado es posible reducir los tiempos que se tardarían en evaluar el deterioro de los compuestos en condiciones medioambientales, hallando la relación que exista entre ambas pruebas. Así por ejemplo se encontró que la disminución de

las propiedades mecánicas para un compuesto epoxi reforzado con fibra de vidrio son similares después de 4 semanas de envejecimiento UV a 46°C en una cámara QUV<sup>2</sup> y 32 semanas de envejecimiento natural (a 26°C en promedio) (Belec *et al.* 2014).

Xudong *et al.* (2006) realizó un estudio de intemperismo acelerado en filamentos de polipropileno con tres intensidades de radiación de 81,58 W/m<sup>2</sup>, 162,58 W/m<sup>2</sup> y 325,25 W/m<sup>2</sup>. Éstas radiaciones fueron comparadas con intemperismo natural en Shangai por período de un año hallando correlaciones que mostraron que las intensidades más bajas de irradiación UV (81,58 W/m<sup>2</sup>) podría ofrecer una condición compatible con los exteriores para la foto-oxidación del material, y por lo tanto, proporcionan una posible manera de predecir el rendimiento de los filamentos usados al aire libre.

En este tipo de pruebas pueden evaluarse la durabilidad de los productos en relación de sus procesos de fabricación, formulaciones, proporciones de mezcla y modificar las condiciones de los agentes de deterioro creando ambientes artificiales más agresivos para el material.

Por ejemplo , se han utilizado macro, micro y nano compuestos de fibra de tallo de banano con fenol formaldehído expuestos a envejecimiento acelerado con agua destilada a 27°C por 14 días, inmersión en vapor de agua por 2 horas y en horno a 120°C por 10 días. Con esas condiciones la resistencia a la flexión e impacto disminuyeron para todos los casos y la menor disminución corresponde a los nano compuestos (Cherian *et al.* 2013).

---

<sup>2</sup> Marca registrada por QLAB Corporation.

## **5. PRINCIPALES AGENTES DE DETERIORO DE LOS WPC**

Dentro de los principales agentes se encuentran los rayos UV, la temperatura y la humedad, además de los procesos que se derivan de ellos como los ciclos húmedo/seco o los ciclos de congelado/descongelado. Por otro lado está el ataque biológico, los agentes de limpieza u otros agentes químicos, la manipulación mecánica, el fuego, entre otros (Morrel *et al.* 2010).

### **5.1. HUMEDAD**

Los efectos de la humedad en el deterioro de los compuestos plástico-material lignocelulósico se dan cuando ésta penetra por las grietas del plástico hinchando las fibras, lo que provoca el rompimiento de la interfase madera-plástico y fracturas en las propias fibras. El agua también acelera las reacciones de oxidación, además de eliminar los extractivos solubles de la madera, lo que causa la pérdida de color (Cárdenas 2012).

Otro efecto de la absorción de humedad dentro de los compuestos plástico-madera, es el estrés físico causado por el material que trata de mantener una humedad de equilibrio con el entorno. Es importante mencionar que la absorción de agua está influenciado por la cantidad y tamaño de partículas de madera en el compuesto (a mayor porcentaje de madera y mayor tamaño de las partículas, mayor absorción de humedad), por el método de fabricación y por el uso de agente acoplante (Stark 2007). Una forma de contrarrestar los efectos de la humedad es disminuir la porosidad o aumentar la densidad de los compuestos tanto como lo permita la formulación y también se pueden utilizar antioxidantes (Kliosov 2007).

En las pruebas de intemperismo acelerado, la humedad es usualmente producida por condensación de vapor de agua y/o por aspersión de agua desionizada. Durante un ciclo de condensación, un reservorio de agua en el fondo de la cámara se calienta (temperatura de condensación programable en la cámara entre 50<sup>0</sup>C a 70<sup>0</sup>C) hasta producir vapor consiguiendo una Humedad Relativa entre 95 y 100 por ciento. Además, hay ciclos de aspersión de agua que simula un choque térmico, el cual es producido por la lluvia en condiciones naturales (Q-Lab 2008).

El desgaste de los compuestos en intemperismo acelerado incluye pulverización de agua periódica, resultando en una erosión cíclica de la superficie conforme se degrada la lignina y posteriormente es lavada, exponiendo más lignina a la degradación. El lavado también puede eliminar extractivos solubles en agua que imparten color ala madera (Pickering 2008).

Algunos compuestos plástico-madera, en pruebas de intemperismo acelerado, experimentaron más pérdida de masa y disminución de las propiedades de flexión cuando se expusieron a un ciclo de radiación UV con rociado de agua en comparación con un ciclo de radiación UV sólo (Stark y Matuana 2004).

## **5.2. TEMPERATURA**

La temperatura acelera la degradación oxidativa de los materiales, y aunque no afecta las reacciones fotoquímicas primarias, sí afecta a las reacciones secundarias que implican los subproductos de la colisión de fotones y de electrones (Q-Lab 2008).

Interviene en la oxidación de compuestos siguiendo un factor común para reacciones químicas de entre 2 y 3 (el coeficiente de temperatura es de  $2,7/10^{\circ}\text{C}$ ). Esto significa que al cambiar la temperatura en  $10^{\circ}\text{C}$  la velocidad de reacción aumenta entre 2 a 3 veces. Un ejemplo de ello se muestra cuando el tiempo de vida para un tablero GeoDeck a  $23^{\circ}\text{C}$  fue de 24 días, y con una temperatura menor en  $2,5^{\circ}\text{C}$  (en términos de reducción de resistencia al 50 por ciento de la inicial debido a la oxidación), el tiempo de vida fue de 48 días, en pruebas de envejecimiento acelerado (Klyosov 2007).

También está relacionada con la energía de activación para el amarillamiento y la pérdida de brillo en termoplásticos bajo condiciones aceleradas. En condiciones naturales la temperatura media diaria es la más importante porque afecta principalmente las reacciones fotoquímicas.

La temperatura que alcanza un compuesto depende de varios factores como: color, capacidad de absorción en el infra rojo, intensidad de la luz, orientación, velocidad del viento, conductividad térmica y el soporte utilizado (Pickett *et al.* 2008).

La temperatura de los ensayos dentro de una cámara de intemperismo acelerado es detectado utilizando la Temperatura de Panel negro (BPT), que es un detector de temperatura por resistencia y que acompaña a las muestras en el ensayo (Atlas 2001).

## **5.3. RAYOS UV**

La fotodegradación es originada principalmente por la radiación UV que va de 260-400 nm y representa el 8 por ciento del espectro solar, la cual es absorbida por la madera debido a que la mayoría de agentes cromóforos está en la lignina. La luz visible que va de 380-700

nm y representa el 46 por ciento del espectro solar, no tiene la suficiente energía (menor a 292,9 kJ/mol) para romper los principales enlaces de los componentes de la madera.

Las reacciones fotoquímicas iniciadas en la superficie conducen a la formación de radicales libres aromáticos y de otro tipo, que provocan la degradación de la lignina y la foto-oxidación de la celulosa y hemicelulosas, provocando eficazmente la decoloración causada por la pérdida del contenido en metoxil de la lignina, rompimiento de los enlaces carbono-carbono y formación de carbonilos (Fabiya 2007).

La fotodegradación para las poliolefinas (polipropileno) es un proceso similar, donde los radicales proceden de residuos de un catalizador, de grupos hidroperóxido, y grupos carbonilo introducidos en el polímero durante la fabricación, procesamiento y almacenamiento, reduciendo el grado de polimerización (Matuana *et al.* 2011).

La degradación de polímeros es llevada a cabo específicamente a través de dos reacciones denominadas Norrish tipo I y Norrish tipo II. En las reacciones de Norrish tipo I, los rayos UV estimulan la escisión de los grupos carbonilo y forman radicales libres. Los radicales libres atacan entonces al polímero provocando la escisión de la cadena o el entrecruzamiento. En las reacciones Norrish Tipo II, los grupos carbonilo y vinilo se forman a partir de otras cadenas y la escisión de nuevos grupos carbonilo continua. Con la repetición de la escisión de la cadena y la reticulación, se forman polímeros de moléculas cortas (Stark y Matuana 2004).

El control de la irradiancia que se aplica en una cámara de intemperismo acelerado dependerá del tipo de fluorescente y el tiempo de emisión de la luz. En estos tipos de ensayo suelen utilizarse lámparas UV, generalmente las UVA-340 y las UVA-351, que simulan la luz solar en la región de onda corta crítica que va desde 365 nm hasta el límite inferior solar de 295 nm.

Para poder contrastar los efectos de la irradiancia usada en un material determinado, se tiene que tratar por lo menos de asegurarse que la temperatura, la humedad y el Poder de distribución espectral sean los mismo. Y para garantizar que la irradiancia sea la misma y se distribuya uniformemente durante todo el período de prueba se utilizan radiómetros.

## 6. PRUEBAS DE INTEMPERISMO ACELERADO

Los efectos del medioambiente sobre los materiales se pueden simular utilizando cámaras de envejecimiento diseñadas para acortar los largos intervalos de tiempo de exposición al exterior. Estas cámaras cuentan con mecanismos que simulan los tres principales agentes de deterioro: La radiación, la temperatura y la humedad (Q-Lab 2015).

Estas pruebas están normadas (ASTM G 151, ATSM G 154, ATSM G 155), y se realizan por ciclos específicos de acuerdo al material y a la característica del material que desea evaluarse en el tiempo. Es importante tener en cuenta que ningún programa de intemperismo acelerado puede considerarse completo sin la confirmación del intemperismo natural o sin su analogía con él y que no existe equivalencia predefinida para las cámaras de intemperismo acelerado respecto a las condiciones ambientales. Si se desea equiparar tiempos y condiciones climáticas, estas podrán correlacionarse después de efectuadas las pruebas-tanto exposición natural como artificial- para un determinado producto, para una característica específica y para una localidad dada (Klyosov 2007).

La utilidad de estas pruebas, consiste en que través de ellas se puede mejorar las características de un producto, en función a la resistencia del material a las condiciones de la cámara (Q-Lab 2008).

Por ejemplo, el efecto combinado de la radiación ultravioleta (UV) y la pulverización de agua sobre las propiedades mecánicas de un compuesto epoxi reforzado con fibras de lino fue investigado para evaluar el rendimiento de durabilidad. Ellos fueron expuestos en una cámara de intemperismo acelerado durante 1500 horas con ciclos de 12 horas de radiación UV a 60 °C seguidos de 3 horas de aspersión de agua y ciclos intermedios de 3 horas a temperatura ambiente. Después de la exposición, el esfuerzo a la tensión y la flexión se redujeron. Para el MOR en tensión en 29,9 por ciento, para el MOE en tensión en 34,9 por ciento; para el MOR en flexión disminuyó en 10,0 por ciento y para el MOE en flexión disminuyó en 10,2 por ciento. Además se concluye que tanto las fibras naturales, como las sintéticas y las híbridas experimentan degradación en sus propiedades mecánicas después de un largo tiempo de exposición (Yan *et al.* 2015).

Bajwa *et al.* (2015) realizó pruebas de intemperismo acelerado en compuestos de polietileno de alta densidad (HDPE) con tres tipos de fibra (roble, algodón y bagazo de guayule) y dos tipos de agente acoplante. Se utilizó un ciclo de 8 horas de irradiancia a  $0,85 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  a

60 °C y 4 horas de condensación a 50°C. Después de 2200 horas se midió la variación de color y todas las muestras presentaron extensa decoloración, lo que sugirió que la incorporación de fibras leñosas o no leñosas en la matriz de HDPE tiene un efecto perjudicial sobre la capacidad del compuesto para resistir la exposición a los rayos UV. El mayor valor  $\Delta E$  fue de 14,1 para compuestos con 24,5 por ciento de roble, 24,5 por ciento de algodón y 1 por ciento de agente acoplante.

En el mismo ensayo cuando se evalúa la absorción de agua a las 24 horas se obtienen el menor valor de 1 por ciento para compuestos con roble al 50 por ciento y valores que llegan hasta 5 por ciento de absorción cuando se utilizan las otras combinaciones de fibras en la matriz de HDPE. Además, se evaluó los cambios en las propiedades de flexión pasadas las 2200 horas, obteniendo la mayor variación para el MOR de 16,23 MPa a 13,06 MPa y del MOE de 2,9 GPa a 2,1 GPa para el compuesto con 50 por ciento de roble.

Al-Salem *et al.* (2015) realizó pruebas de intemperismo acelerado para compuestos de Polietileno virgen de baja densidad (LLDPE) combinados con residuos de plástico sólido (PSW) en proporciones 100/0, 75/25, 50/50, 360, 25/75 y 10/90 durante 360 horas en una cámara QUV con un ciclo de 8 horas de radiación de 0,89 W/m<sup>2</sup>/nm a 60 °C y 4 horas de condensación a 50°C. Se obtuvo al final del ciclo de exposición que el módulo de Young aumentó para todas las proporciones como resultado de procesos de cristalización del polímero, llegando a un valor máximo de 109 MPa. La resistencia en tensión disminuyó para todas las proporciones obteniendo el mínimo valor la proporción 75 LLDPE/25 PSW que disminuyó de 22 MPa a 6 MPa. Al realizar mediciones de claridad L\* la proporción 75 LLDPE/25 PSW mostró los cambios más notorios al cambiar a las 360 hora de un valor L de 22,4 a 24,2 y también sufrió el mayor incremento  $\Delta E$  al pasar de 2,3 a 4,1.

Peng *et al.* (2014) probó seis grupos de materiales compuestos de polipropileno reforzados con harina de madera, celulosa y lignina a diferentes niveles de carga en una cámara QUV por 960 horas con ciclos de 8 horas de radiación a 60 °C seguidos de 4 horas de condensación a 50 °C.

El contenido de lignina aceleró la decoloración; sin embargo, los compuestos con mayor contenido de lignina muestran menos pérdida de resistencia a la flexión (MOR y MOE), menos grietas y mejor hidrofobicidad, lo que confirma las funciones de estabilización y anitoxidación de la lignina. Además todas las combinaciones mostraron un aumento de la

cristalinidad de Polipropileno. Se menciona que, los materiales compuestos que contienen lignina tuvieron un ligero aumento en su resistencia a la flexión (tanto para MOR y MOE), que se atribuye al efecto antioxidante de la lignina.

Se hicieron pruebas para comparar poli estireno de alto impacto y poli estireno reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar mercerizada y blanqueada; de este estudio, se observó que los materiales compuestos reforzados con fibras blanqueadas son menos susceptibles al intemperismo acelerado que los materiales compuestos reforzados con fibras mercerizadas. Esto se explica por la mayor cantidad de lignina presente en fibras mercerizadas. Las pruebas de envejecimiento acelerado se llevaron a cabo utilizando una cámara QUV con una bombilla fluorescente UVB-313 con  $0.76 \text{ w/m}^2/\text{nm}$  de irradiancia, con ciclos repetitivos de irradiación UV durante 8 horas a  $60^\circ \text{C}$ , seguidos de 4 h de condensación de agua a  $50^\circ \text{C}$ . Las muestras se sometieron al proceso de envejecimiento por 900 horas. Los efectos del intemperismo fueron más notorios en los compuestos con refuerzo que los puros. Además, la resistencia a la tensión aumentó conforme se aumentó la proporción de fibra y disminuyó después de las 900 horas de exposición (Beninia *et al.* 2011).

Los compuestos de fibra de palma datilera con polipropileno fueron expuestos a intemperismo natural (por 9 meses a una temperatura máxima de  $49.5^\circ \text{C}$ , 90 por ciento de humedad relativa y 480 Langleys) y artificial (por 2000 horas, con una temperatura de panel negro de  $63 \pm 3^\circ \text{C}$ , con 50 por ciento de HR e irradiancia de  $45 \text{ w/m}^2$ ). En el estudio se encontró, después de evaluar las propiedades mecánicas, que los compuestos con fibra de palma son más estables que los que usan sólo el polipropileno (Abu-Sharkh *et al.* 2003).

En cuanto al uso de bambú en compuestos expuestos a intemperismo, se llevaron a cabo investigaciones en estera de bambú ondulado. Se hicieron correlaciones después de 200 ciclos de exposición a intemperismo acelerado con fluorescentes UVB-313, irradiancia de  $0,55 \text{ w/m}^2/\text{nm}$  a  $80^\circ \text{C}$  por 20 horas seguido de 3 horas de condensación a  $50^\circ \text{C}$  con aspersión de agua de 1 hora, comparándolo con un intemperismo natural de 7 años. Se evaluó la capacidad de carga y se observó que tiene un valor de  $4,0 \text{ N/mm}$  (el valor mínimo para esteras de este tipo) después de 350 ciclos de intemperismo acelerado, lo que es equivalente a 25 años de intemperismo natural (Thanigai *et al.* 2011).

También se evaluó los efectos del intemperismo sobre las propiedades mecánicas de un compuesto de polipropileno reforzado con fibra de vidrio-bambú. Se realizó inmersión en agua a 25°C por 1200 horas y se determinó que el compuesto reforzado con fibra de bambú-vidrio es más resistente que el compuesto reforzado con fibra de bambú sólo (Thwe y Liao, 2001).

## 7. CÁMARA DE INTEMPERISMO ACELERADO

Estas cámaras son dispositivos diseñados para emitir irradiación UVA y/o UVB a una temperatura en un rango que va de 50°C a 70°C, con una humedad relativa de 100 por ciento mediante condensación.

Los fluorescentes del tipo UVA (Tabla 1) puede irradiar energía sólo de onda corta que va de 300 nm a 400 nm, el rango de radiación mayormente absorbido por la lignina y la que ocasiona el mayor efecto de daño. En otras palabras, ofrece la mejor simulación en onda corta UV, aunque no reproduce la totalidad del espectro solar (Q-Lab 2015; Peng 2015 ).

**Tabla 1: Rango de longitud de onda para tipos de fluorescentes usados en pruebas de intemperismo acelerado.**

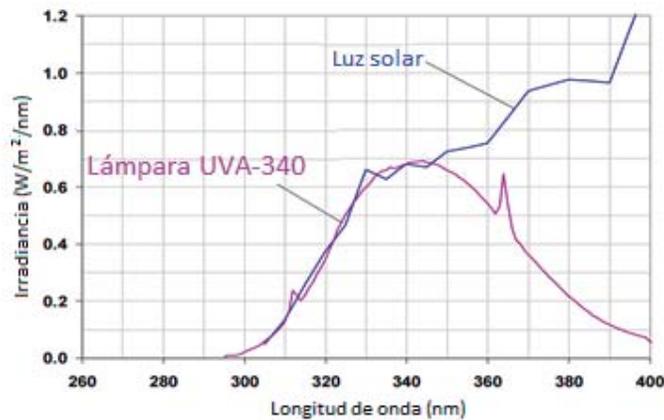
Rango espectral	nm	Irradiancia*
<b>UV-B</b>	280-315	2,19 W/m <sup>2</sup>
	280-320	4,06 W/m <sup>2</sup>
<b>UV-A</b>	315-380	49,43 W/m <sup>2</sup>
	315-385	54,25 W/m <sup>2</sup>
	315-400	72,37 W/m <sup>2</sup>
	320-400	70,50 W/m <sup>2</sup>
<b>Total UV</b>	≤ 380	51,62 W/m <sup>2</sup>
	≤ 385	56,44 W/m <sup>2</sup>
	≤ 400	74,56 W/m <sup>2</sup>

\* irradiancia espectral solar global a nivel del mar.

FUENTE: CIE,1989

Existen dos tipos de lámparas UVA de uso más generalizado. Las UVA-340, las cuales proporcionan la mejor simulación posible de radiación solar en la región de onda corta crítica de 365 nm descendiendo hasta el límite solar de 295 nm y su emisión máxima es a 340 nm como se puede (Figura 1). También están las UVA-351, las que simulan la radiación solar filtrada a través del cristal de ventana. Además están las lámparas UVB que

emiten energía por debajo del límite solar de 295nm y es útil para acelerar varios tipos de ensayos (Q-lab 2015).



**Figura 1:** Distribución de poder espectral de fluorescentes UVA-340 (Q-lab 2012)

*FUENTE: Q-LAB*

Las cámaras QUV simulan los efectos del medio ambiente, más nos los reproducen fielmente porque la distribución de energía espectral de la cámara es distinta a la producida por el sol (Tabla 1), o porque su fuente de calor es artificial y su temperatura tiene un profundo efecto sobre la velocidad de foto degradación. Además, encontrar una relación entre el ambiente externo y el de la cámara es muy difícil por la cantidad de variables que existen, como la altitud, latitud, características locales del clima, variabilidad climática anual, etc.; por lo tanto no existe un factor que correlacione ambos tipos de exposición a priori.

La cámara QUV es utilizada para someter a pruebas materiales que estén pensados para ser durables como los recubrimientos, techos y plásticos. Sus lámparas fluorescentes UV son espectralmente estables y mejoran la reproducibilidad de los ensayos y su sistema de humidificación es el que simula de manera más realista las condiciones ambientales. Esta cámara hace posible repetir las mismas condiciones de ensayo para un producto y hacer sucesivas modificaciones en la composición del mismo hasta lograr la formulación adecuada que resista un tiempo mayor a las condiciones de intemperismo acelerado (Q-Lab 2015).

## 8. TEORÍA DEL COLOR / VALORES CIE

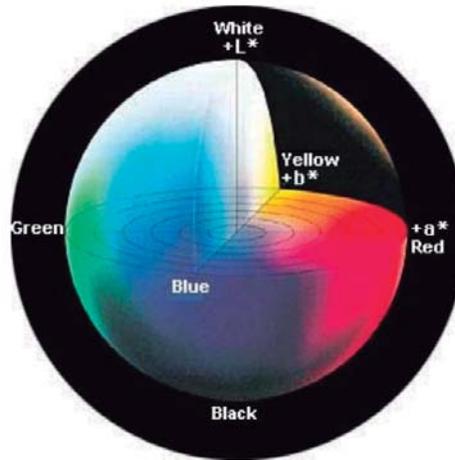
El color se define como la “sensación visual que se origina por la estimulación de la retina del ojo”. Y para que sea percibido se requiere de a) una fuente de luz b) un objeto que sea iluminado y c) un observador (METAS 2009).

Todo cuerpo iluminado absorbe una parte de las ondas electromagnéticas y refleja las restantes dependiendo de las características del material. Las ondas reflejadas son captadas por la retina del ojo e interpretadas por el cerebro como colores de acuerdo a su longitud de onda. El ojo humano sólo es capaz de distinguir una parte del espectro electromagnético que comprende la región de 380 nm a 780 nm.

La retina del ojo posee detectores fotosensibles de dos tipos: los bastones, que son los que se activan en la oscuridad y sólo distinguen el blanco, el negro y los tonos de grises; y los conos que son de tres tipos: conos sensibles rojos, conos sensibles verdes y conos sensibles azules; los que a su vez corresponde a los tipos de colores llamados primarios. La mezcla aditiva de colores primarios es interpretada por el cerebro produciendo una gama de colores.

Para poder cuantificar el color la CIE (Commission Internationale de L'Eclairage) creó un sistema de números basado en la reflectancia (Figura 2), que se define como la relación entre el flujo luminoso reflejado y flujo luminoso incidente sobre un objeto, refiriéndose a los espacios de color ( $L^*a^*b^*$ )

El valor de  $L^*$  representa la claridad y va de 0 para el negro y 100 para el blanco;  $a^*$  y  $b^*$  son coordenadas cromáticas:  $+a$  representa tendencia al rojo,  $-a$  representa el verde;  $+b$  representa tendencia al amarillo y  $-b$  representa el azul (X-rite 2007).



**Figura 2:** Diagrama de espacios de color CIE (L\*a\*b\*)

*FUENTE: X-RITE (2007)*

Además existe un valor resultante  $\Delta E$ , el cual determina la diferencia de color de acuerdo a:

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$$

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1. LUGAR**

Las cañas de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) se colectaron del Caserío Limoncito, distrito de La Florida, provincia de San Miguel en el departamento de Cajamarca. Las cañas de bambú fueron colectadas en la zona con coordenadas UTM: E0709843 N9239792 a una altitud de 1260 msnm.

La preparación de la materia prima, el secado de las muestras y los ensayos se realizaron en los laboratorios de Transformación Química, de Secado y de Propiedades Físico-Mecánicas de la madera, del Dpto. de Industrias Forestales y el área de ensilado del Dpto. de Nutrición Animal de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

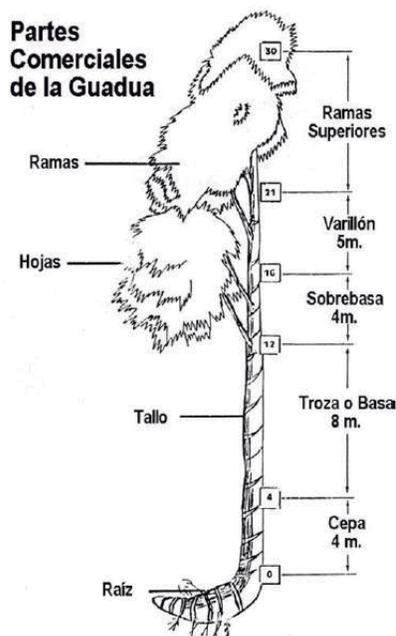
El proceso de extrusión del compuesto se realizó en los laboratorios del Centro Nuclear Oscar Miro Quezada del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

Los ensayos de tensión e impacto se realizaron en el laboratorio de la empresa Fibraforte, en Lima y los de flexión en el laboratorio de Tecnología de la Madera del Dpto. de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### **2. MATERIAS PRIMAS**

##### **2.1. PARTÍCULAS DE BAMBÚ**

Todas las partículas provinieron de la sección apical del culmo, es decir el “varillón”, pues éste es un residuo del aprovechamiento de las cañas. Los culmos tenían 4 años de edad al momento de su cosecha y se encontraban en un buen estado fitosanitario (Figura 3).



**Figura 3: Partes comerciales de *G. angustifolia*.**

*FUENTE: MERCEDES (2006)*

Se utilizó Polipropileno homopolímero TELDENE H12ML con un índice de fluidez de 2,16kg/230°C: 12g/10 min.

## **2.2. AGENTE ACOPLANTE**

Se utilizó agente acoplante anhídrido maléico de polipropileno – MAPP con temperatura de fusión 167 °C (de la marca OVERAC CA 100).

## **3. LISTA DE MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS**

### **3.1. MATERIALES**

- Machete
- Jabas
- Serrucho
- Baldes de 20 litros
- GPS y cámara fotográfica
- Libreta de campo y lápices

- Plumones indelebles y etiquetas
- Wincha de 10 m.
- Sierra de arco
- Costales, aguja y pabilo
- Tamiz de malla ASTM 40/60
- Etiquetas
- Pinzas de metal
- Vasos de precipitado
- Agua destilada
- Paños de secado
- Cera
- Marco de acero (8 unidades) de 21\*21\*0.25 cm
- Láminas metálicas (16 unidades) 32\*32\*0.3 cm
- Desecador de sílica gel

### **3.2. EQUIPOS**

- Cámara QUV-SE (de Q-Lab).
- Radiómetro CR-10 (de Q-Lab).
- Prensa hidráulica de vulcanizado de caucho de 60 T (marca “Tramelsa”)
- Extrusora de laboratorio de husillo simple de 55 W de potencia.
- Molino industrial de cuchillas de 1750 RPM
- Molino de cuchillas de 2830 RPM de la empresa BUDAPESTI VEGYIPARI GEPGYAR.

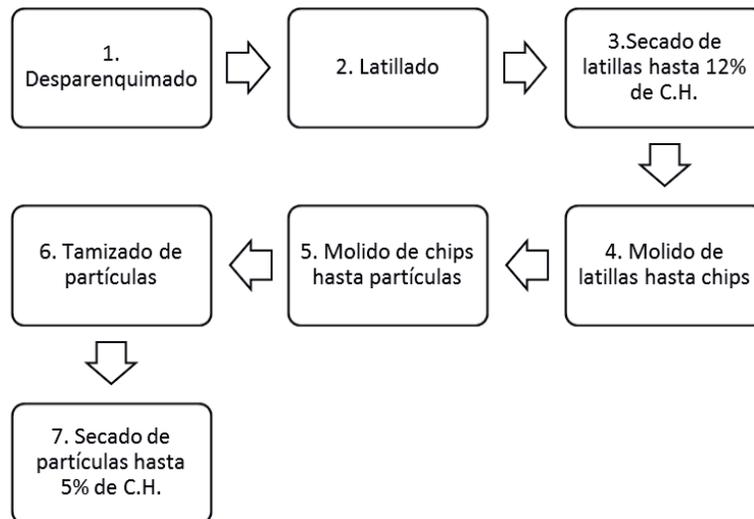
- Balanza mecánica de 6 Kg con 50 gr de precisión.
- Horno para secado de madera.
- Estufa para secado de laboratorio (marca Muszeripari)
- Balanza analítica de 250g de capacidad con 0,1 mg de precisión (Henkel)
- Campana desecadora con silicagel.
- Zaranda vibratoria con motor de 1700 RPM (marca Maccinox).
- Tamices ASTM con número (abertura de malla): 20 (0,84 mm), 40 (0,43 mm), 60 (0,25 mm) y 80 (0,18 mm) con fondo y tapa.
- Balanza digital de 5 kg de capacidad con 0,1 gr de precisión (marca Camry).
- Colorímetro Lovi Bond Datacolor DF 110
- Vernier digital de 0,02 mm de precisión (marca Mitutoyo).
- Prensa Universal de 60000 lb de capacidad, con accesorios ( Tyinius Olsen).
- Deflectómetro de 1” (2,54cm) de carrera con 0,001” (0,00254cm) de aproximación.

## **4. MÉTODOS**

### **4.1. PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

#### **a. Partículas de bambú**

Para la obtención de partículas, las cañas siguieron un proceso de desparenquimado, latillado, secado al horno hasta un 12 por ciento de C.H., un doble molido, primero por un molino de cuchillas hasta la obtención de chips y luego por un molino más pequeño hasta la obtención de partículas (Figura 4). Las partículas obtenidas fueron seleccionadas de acuerdo a su tamaño mediante un sistema de mallas usando las que quedaron en la malla ASTM 40/60.



**Figura 4: Diagrama de flujo del proceso de obtención de partículas**

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

#### **b. Procesamiento del polipropileno y el agente acoplante**

Los pellets de plástico y de agente acoplante (MAPP) fueron pasados de forma separada por un molino de martillos antes de ser mezclados con las partículas de bambú.

#### **4.2. ELABORACIÓN DE TABLEROS**

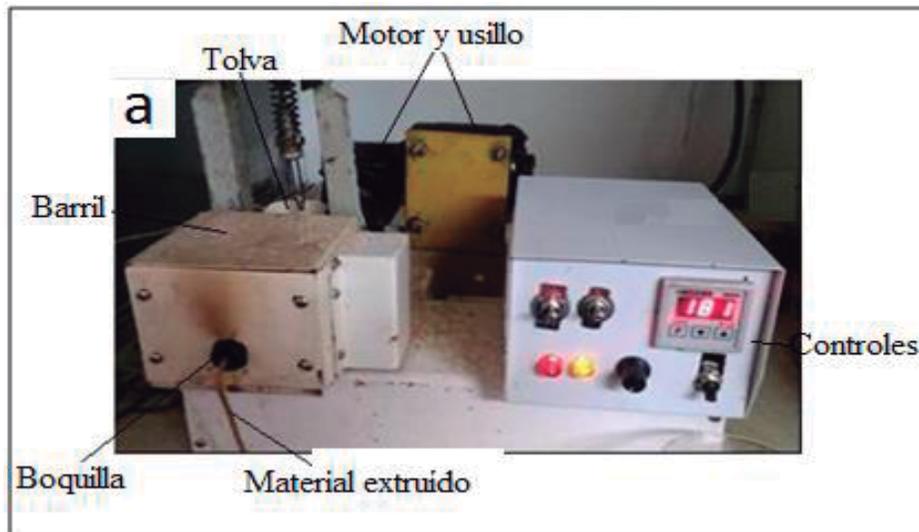
Se elaboraron tableros en dos proporciones de mezcla plástico/bambú 70/30 y 50/50 (con 68 y 48 por ciento de polipropileno respectivamente y 2 por ciento de agente acoplante). Se utilizaron en total 304 especímenes, los que fueron sometidos a imtemperismo acelerado. 80 fueron para evaluar el impacto, 72 para evaluar la flexión, 72 para tensión y 80 para evaluar el color y las propiedades físicas.

Se elaboraron pellets por el método de extrusado. Para ello se utilizó una extrusora de laboratorio (Figura 5) de husillo simple, con capacidad de mezclar 5 g/min en donde se mezcló el PP, el MAPP y las partículas de bambú previamente secadas. La temperatura a la cual se hizo la mezcla fue de 185 °C. La mezcla salió de la extrusora en forma de hilos, los que luego fueron molidos nuevamente para obtener pellets.

Los pellets resultantes son llevados a una estufa a 100 °C y luego son procesados en una prensa de platos (Figura 6) con temperaturas de 195 °C en el plato superior y 177 °C en el plato inferior y una presión máxima de moldeo de 4 MPa (4,07 kg/cm<sup>2</sup>) para lo cual se utilizan moldes de acero N° 304 de 210mm x 210 mm x 2,5 mm (medidas del área interna

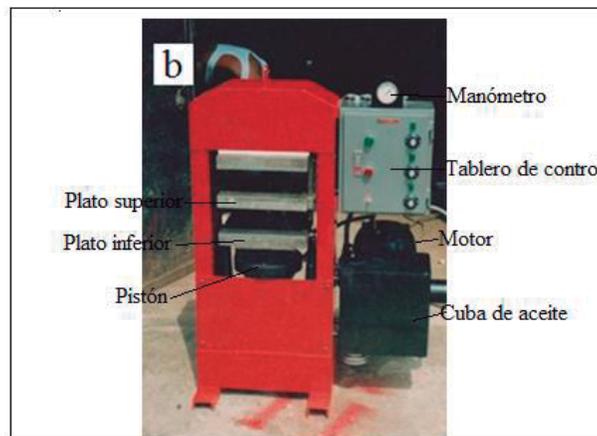
del marco) que fueron colocados en medio de dos placas de acero de 300mmx300mmx3,0 mm. El tiempo de prensado fue de 4 minutos por tablero.

Una vez acondicionados los tableros fueron cortados utilizando de una cortadora láser Camfive CFL-CMA 1616 (Figura 7) para obtener las diferentes formas de las probetas (ver Figura 10).



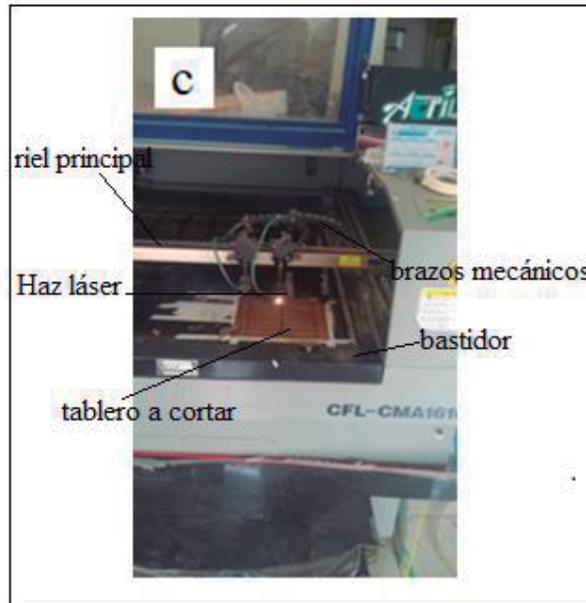
**Figura 5: Extrusora de usillo simple**

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*



**Figura 6: Prensa hidráulica de vulcanizado de caucho de 60 T**

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*



**Figura 7:** Cortadora láser CAMFIVE CFL-CMA 1616 en pleno proceso de corte de un tablero

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

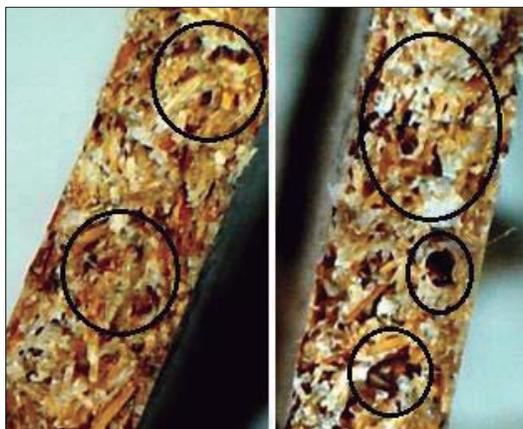
#### **4.3. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO OBTENIDO**

Se obtuvieron tableros de 21 cm x 21 cm con 2,5 mm de espesor en promedio. La superficie de los tableros presentó rugosidad al tacto y se pudieron apreciar espacios vacíos donde se alojaron burbujas de aire (Figura 8 y Figura 9).



**Figura 8:** Superficie del tablero resultante plástico/bambú con espacios discontinuos.

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*



**Figura 9:** Secciones transversales de los tableros resultantes conteniendo espacios vacíos.

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

Las propiedades físicas y mecánicas para el producto fueron determinados como se muestra en la Tabla 2 (Lázaro 2016).

**Tabla 2:** Propiedades físico-mecánicas para los tableros plástico/bambú obtenidos por compresión

Proporción pp/bambú	C.H. (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)		Hinchamiento (%)		Tensión		Flexión		Impacto (J)
			2h	24h	2h	24h	MOR (MPa)	MOE (GPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	
			50/50	0,9	0,89	4	13	1	3	17,0	
70/30	0,3	0,87	1	4	0	1	15,7	1,2	18,9	0,7	0,4
100/0	0,0	0,84	0	0	0	0	31,4	0,6	25,4	0,6	2,0

*FUENTE: LÁZARO (2016)*

#### 4.4. EXPOSICIÓN DE PROBETAS A INTEMPERISMO ACELERADO

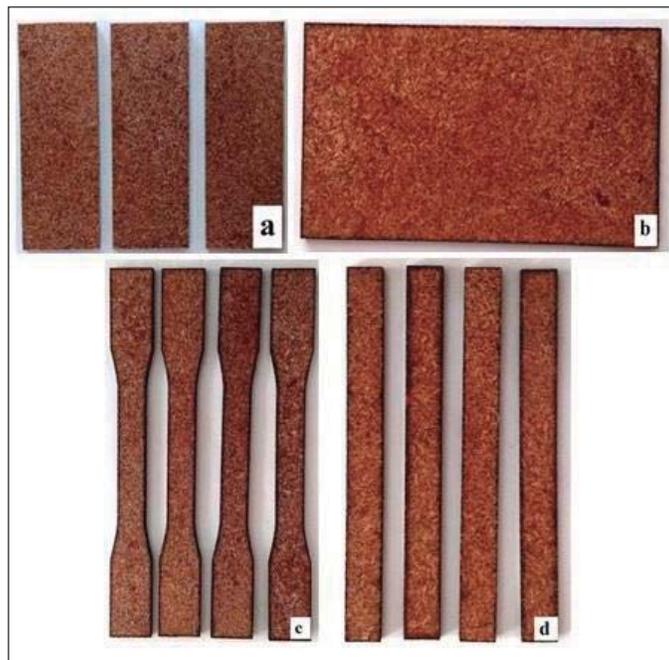
Las probetas de compuestos plástico-bambú, en todas las formas correspondientes sus respectivos tipos de ensayo (Figura 10 y Tabla 4), fueron puestas distribuidas al azar en una cámara QUV de fluorescentes UVA-340 con una longitud de onda pico a 340 nm por un intervalo de tiempo de 500 horas compuestos por ciclos de 12 horas compuestos por 8 horas de radiación UV seguidos de 4 horas de condensación (Tabla 3).

**Tabla 3: Condiciones de exposición programado en la cámara QUV para los cuatro tratamientos.**

Ciclo	Irradiancia pico w/m <sup>2</sup> /nm	Ciclo UV		Ciclo de condensación	
		Temperatura BPT (°C)	Tiempo (h)	Temperatura BPT(°C)	Tiempo (h)
<b>A</b>	0,89 (±3)	60 (±3)	8	50 (±3)	4
<b>A modificado</b>	1,55 (±3)	60 (±3)	8	50 (±3)	4
<b>D</b>	0,89 (±3)	70 (±3)	8	50 (±3)	4
<b>D modificado</b>	1,55 (±3)	70 (±3)	8	50 (±3)	4

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

En la Figura 10 se pueden observar la forma de las probetas que fueron utilizadas y en el cuadro 4 las dimensiones y el número empleado por cada tipo de probeta.



**Figura 10: Probetas de compuesto plástico/bambú para los ensayos: a) Físicos, b) Impacto, c) Tensión, d) Flexión.**

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

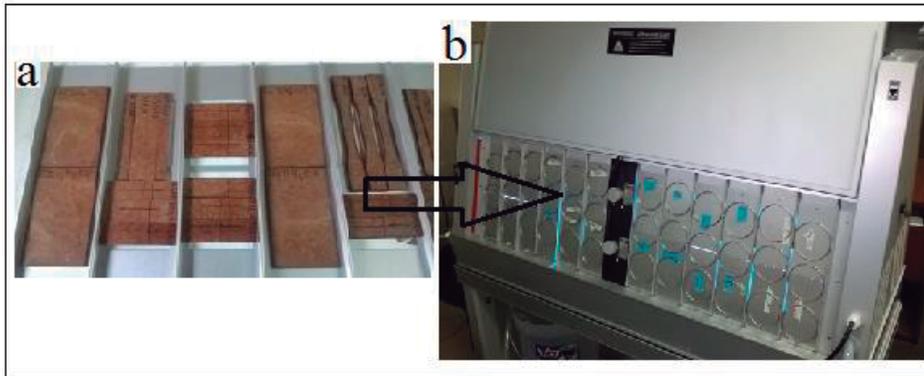
**Tabla 4: Dimensiones de los especímenes de compuestos plástico-bambú para ensayos de intemperismo artificial.**

Ensayo	Proporción	Número de especímenes por tratamiento	Dimensión (mm)
Absorción e hinchamiento	50/50	7	76,2 x 25,4 x 2,2
	70/30	7	76,2 x 25,4 x 2,2
C.H. , densidad, color	50/50	7	76,2 x 25,4 x 2,6
	70/30	7	76,2 x 25,4 x 2,4
	PP	7	76,2 x 25,4 x 2,9
Flexión	50/50	7	50 x 13 x 2,55
	70/30	7	50 x 13 x 2,55
Impacto	50/50	10	80 x 40 x 2,55
	70/30	10	80 x 40 x 2,55
	PP	10	80 x 40 x 2,55
Tensión	50/50	7	79 x 3,3 x 2,55
	70/30	7	79 x 3,3 x 2,55

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

En la Tabla 10 se verifica que se utilizaron testigos de polipropileno al 100 por ciento (100/0) únicamente para las pruebas de densidad, color e impacto. En las otras pruebas se prescindieron de testigos por la limitada capacidad de la cámara para contener más probetas.

En la cámara se instalaron 76 probetas de compuestos plástico-bambú (38 por proporción de mezcla) por cada tratamiento de 500 horas de duración, además de 17 probetas de polipropileno al 100 por ciento que se usaron para medir las variaciones de color, densidad e impacto (Tabla 4). Las probetas fueron puestas en los porta muestras de la cámara QUV-Se, de tal manera que una de las caras de la probeta quede permanentemente expuesta a la luz emitida por los fluorescentes de la cámara (Figura 11).



**Figura 11: Montaje de las probetas de ensayo de compuestos: a) Probetas montadas en los portamuestras b) Portamuestras con probetas montadas en la cámara QUV-SE.**

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

#### **4.5. VARIABLES RESPUESTA**

##### **a. Colorimetría**

El cambio de claridad se evaluó cada 100 horas utilizando las probetas de absorción e hinchamiento. Para ello se empleó un colorímetro Lovibond (Datacolor DF 110) y se aplicó el sistema de evaluación CIE LAB, siendo las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  evaluadas con la fuente de luz D65, sistema d/8. Con los valores obtenidos se aplicaron las fórmulas siguientes para estimar cambio total de color,  $\Delta E$ :

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$$

Donde  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  son las diferencias entre los valores inicial y final de los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  respectivamente. La superficie de color fue medido en un único lugar en cada probeta.

**b. Propiedades físicas y mecánicas**

Finalizada las 500 horas en la cámara QUV-SE se determinaron las propiedades físicas de absorción e hinchamiento según norma de la American Society for Testing and Materiales (ASTM) D570-98. También se evaluaron las propiedades mecánicas de flexión, tensión e impacto; flexión según la norma ASTM D570-03 (2003); impacto Gardner, según ASTM D5420-04 (2004) y tensión bajo la norma ASTM D638-03(2003).

**4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se realizó por medio de un DBCA (Tabla 5), donde los bloques fueron las dos proporciones de mezcla plástico-bambú de 50/50 y 70/30, con dos factores que fueron temperatura y radiación y dos niveles por factor, 40°C y 60°C para temperatura; y 0,89 w/m<sup>2</sup>/nm y 1,55 w/m<sup>2</sup>/nm para radiación (Tabla 6).

Se realizaron 7 repeticiones para los ensayos de contenido de humedad, densidad, absorción, hinchamiento, tensión y flexión. Para el ensayo de impacto es el mismo diseño experimental solo que varía el número de repeticiones, en este caso fueron 10.

El software utilizado fue el Minitab versión 17.3.

**Tabla 5: Diseño experimental (DBCA) de los tratamientos empleados para la evaluación de las propiedades físico-mecánicas del material compuesto.**

Bloques	Temperatura	Radiación	Tratamientos	Repeticiones	Propiedades físico-mecánicas					
					Densidad	Contenido de Humedad	Absorción	Hinchamiento	Tensión	Flexión estática
50/50	T1=60°C	R1=0,89 w/m <sup>2</sup> /nm	5T1R1	7	X	X	X	X	X	X
		R2=1,55 w/m <sup>2</sup> /nm	5T1R2	7	X	X	X	X	X	X
	T2=70°C	R1=0,89 w/m <sup>2</sup> /nm	5T2R1	7	X	X	X	X	X	X
		R2=1,55 w/m <sup>2</sup> /nm	5T2R2	7	X	X	X	X	X	X
70/30	T1=60°C	R1=0,89 w/m <sup>2</sup> /nm	7T1R1	7	X	X	X	X	X	X
		R2=1,55 w/m <sup>2</sup> /nm	7T1R2	7	X	X	X	X	X	X
	T2=70°C	R1=0,89 w/m <sup>2</sup> /nm	7T2R1	7	X	X	X	X	X	X
		R2=1,55 w/m <sup>2</sup> /nm	7T2R2	7	X	X	X	X	X	X

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1,2,3,4 \quad \text{y} \quad j = 1,2$$

donde:

$Y_{ij}$  : Efecto en las propiedades físico o mecánicas para el i-ésimo tratamiento de intemperismo para el j-ésimo bloque.

$\mu$  : Es el efecto de la media general para las propiedades físicas o mecánicas.

$\tau_i$  : Es el efecto del i-ésimo tratamiento de intemperismo.

$\beta_j$  : Es el efecto del j-ésimo bloque o proporción de compuesto.

$\varepsilon_{ij}$  : Es el efecto del error experimental en el i-ésimo tratamiento de intemperismo en la j-ésima proporción de compuesto.



## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Tabla 6 se resume todos los resultados obtenidos después de transcurridas 500 horas en la cámara QUV/SE para cada tratamiento y dos proporciones de mezcla del compuesto.

**Tabla 6: Resumen de las propiedades físico-mecánicas después de 500 horas de intemperismo artificial**

Tratamiento	Proporción PP/bambú	Color		C.H (%)	Densidad (g/cm³)	Absorción (%)		Hinchamiento (%)		Tensión		Flexión		Impacto (J)
		L	ΔE			2h	24h	2h	24h	MOR (MPa)	MOE (GPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	
Testigo	50/50	36,7	-	0,9	0,89	4	13	1	3	17,0	1,5	15,0	0,8	0,3
	70/30	43,4	-	0,3	0,87	1	4	0	1	15,7	1,2	18,9	0,7	0,4
	100/0	67,7	-	0	0,84	0	0	0	0	NE	NE	NE	NE	2,0
T1R1	50/50	68,2	32,6	1,4	0,94	4,8	11,9	0,8	2,4	11,2	0,9	22,2	1,0	0,43
	70/30	67,7	26	0,8	0,95	7,2	19,2	1,2	2,6	13,3	0,9	19,1	0,6	0,4
	100/0	74,1	8,4	0	0,93	0	0	0	0	NE	NE	NE	NE	0,3
T1R2	50/50	65,9	29,9	1,0	0,93	5,9	16,8	1	2,1	12,5	1	21,6	1,0	0,4
	70/30	65,4	23,6	0,8	0,97	4,3	9,4	0,8	1,4	10,5	0,9	24,3	0,8	0,5
	100/0	76,6	11	0	0,93	0	0	0	0	NE	NE	NE	NE	0,3
T2R2	50/50	60,9	26,9	1,0	0,93	6,9	18,5	1	2,3	10,7	0,9	19,9	2,0	0,5
	70/30	64,5	23,2	0,7	0,93	4,2	9,2	0,7	1	11,5	0,9	22,3	1,1	0,4
	100/0	76,8	12,8	0	0,9	0	0	0	0	NE	NE	NE	NE	0,2
T2R1	50/50	63	24,6	0,9	0,94	7	18,4	1,4	1,7	11,2	0,9	20,2	1,8	0,5
	70/30	65	22,5	0,8	0,96	4,2	7,6	0,6	1,3	12	1,1	21,8	0,8	0,4
	100/0	78,1	14,3	0	0,93	0	0	0	0	NE	NE	NE	NE	0,2

\* NE: No existen, por no utilizar testigos de plástico para los respectivos ensayos

## 1. RADIACIÓN EMITIDA POR LA CÁMARA EN CADA TRATAMIENTO

La radiación fue registrada automáticamente por los sensores de la cámara de manera acumulativa en  $J/m^2$  cada 500 horas y las cantidades medidas se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7: Radiación total a las que fueron expuestas los compuestos plástico/bambú por tratamiento**

Tratamientos	Radiación	
	kWh/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>
T1R1	0,27	0,98
T1R2	0,34	1,2
T2R2	0,34	1,2
T2R1	0,29	1,05

Como se puede apreciar las cantidades recibidas por las probetas difieren muy poco entre ellas, haciendo un redondeo sería de 0,3 kWh/m<sup>2</sup> en cada tratamiento, a pesar de que la radiación R2=1,55 W/m<sup>2</sup>/nm es casi el doble que R1=0,89 W/m<sup>2</sup>/nm. Es decir, existe poco diferencia entre uno y otro tratamiento lo que se verá reflejado en los resultados del experimento.

En la Tabla 8 se presentan como valores referenciales las radiaciones recibidas en tres zonas del Perú (SENAMHI 2003).

**Tabla 8: Energía solar incidente diaria en tres regiones del Perú**

Regiones del Perú	Radiación	
	kWh/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>
Costa sur	6,5	23,4
Costa norte	6,0	21,6
Selva	5,0	18

Al comparar las Tablas 7 y 8 podemos tener una somera idea de la cantidad de energía que fue capaz de emitir los fluorescentes UVA de la cámara QUV en comparación con las condiciones medioambientales reales.

## 2. CAMBIOS DE CLARIDAD “L” Y DIFERENCIA DE COLOR “ΔE”

Los resultados mostrados en la Tabla 9 detallan los valores finales de L\* alcanzados por las probetas después del periodo de exposición en la cámara. El mayor valor para la proporción 70/30 fue de L\*= 67,7; para la proporción 50/50 fue de L\*= 68,2 y para el polipropileno puro fue de L\*= 78,1.

**Tabla 9: Valores de L alcanzados después de 500 horas en cámara QUV-SE por tratamiento y por proporción de mezcla.**

Proporción	L*			
	T1R1	T1R2	T2R2	T2R1
70/30	67,7	65,4	64,5	65
50/50	68,2	65,97	60,9	63
PP	74,1	76,6	76,8	78,1

Los valores más altos alcanzados para ambas proporciones de compuesto fueron para el tratamiento T1=60 °C y R1=0,89 W/m<sup>2</sup>/nm (T1R1) y el valor más alto alcanzado por el polipropileno puro fue con T2R1.

En la Tabla 10 se detallan las variaciones en porcentaje al final del periodo de exposición. Para la proporción 70/30 la mayor variación fue de 63,0 por ciento con el tratamiento T1R2 y para la proporción 50/50 la mayor variación fue de 64,3 por ciento con el tratamiento T1R1.

**Tabla 10: Porcentaje de variación de la claridad después de 500 horas en cámara QUV-SE por tratamiento y por proporción de mezcla.**

Proporción	ΔL			
	T1R1	T1R2	T2R2	T2R1
70/30	59,3%	63,0%	51,1%	52,9%
50/50	64,3%	44,7%	34,1%	38,5%
PP	12,8%	12,5%	10,0%	15,4%

La Tabla 11 muestra los cambios de color ΔE. El mayor valor para la proporción 70/30 fue de 23,5 y para la proporción 50/50 fue de 29,9; mientras que para el polipropileno puro fue de 14,3.

**Tabla 11: Valores  $\Delta E$  alcanzados después de 500 horas en cámara QUV-SE por tratamiento de temperatura y radiación y por proporción de mezcla.**

Proporción	$\Delta E$			
	T1R1	T1R2	T2R1	T2R2
70/30	26	23,59	23,2	22,5
50/50	32,6	29,91	26,9	24,6
PP	8,4	11	12,8	14,3

Las máximas claridades  $L^*$  alcanzadas han sido por el polipropileno puro, sin embargo el polipropileno es el que sufre las menores variaciones  $\Delta L$  y  $\Delta E$  en comparación con los compuestos.

Dentro de los compuestos los que sufren las mayores variaciones tanto para claridad  $L$  y para  $\Delta E$  son los de proporción 50/50 (Tablas 9 y 11; Figuras del 12 al 15), puesto que los compuestos con mayor contenido de bambú son los que sufren los cambios más notorios. Esto debido al contenido de lignina que es la responsable de absorber los rayos UV y generar grupos cromóforos causando el foto blanqueamiento del compuesto (Fabiya 2007).

Al realizar comparaciones estadísticas se tiene que dentro de los tratamientos el factor temperatura genera diferencia en las medias (Anexo 1), así los efectos más notorios se dan con  $T1=60^{\circ}\text{C}$  (Tablas 9, 10 y 11).

La escasa diferencia en los valores se explica porque la irradiancia aplicada en cada uno de los cuatro tratamientos ha sido prácticamente la misma:  $0,31(\pm 0,03) \text{ kWh/m}^2$  (Tabla 7). Las diferencias que puedan ser apreciables se deberían a la temperatura y/o al hecho de que el color obtenido en la elaboración de las muestras no ha sido uniforme (Anexo 11).

En ensayos realizados por otros autores se tiene que Bajwa *et al.* (2015), realizó pruebas de intemperismo acelerado en compuestos de polietileno de alta densidad con tres tipos de fibra (roble, algodón y bagazo de guayule). Después de 2200 horas se midió la variación de color y el mayor  $\Delta E$  fue de 14,1 para compuestos con 24,5 por ciento de roble, 24,5 por ciento de algodón y 1 por ciento de agente acoplante y 50 por ciento de polietileno.

Stark (2007), encontró variaciones de 46 por ciento en claridad  $\Delta L$  en compuestos 50/50 de pino ponderosa y polietileno para intemperismo acelerado con lámparas de Arc xenón y aspersión de agua por 3000 horas.

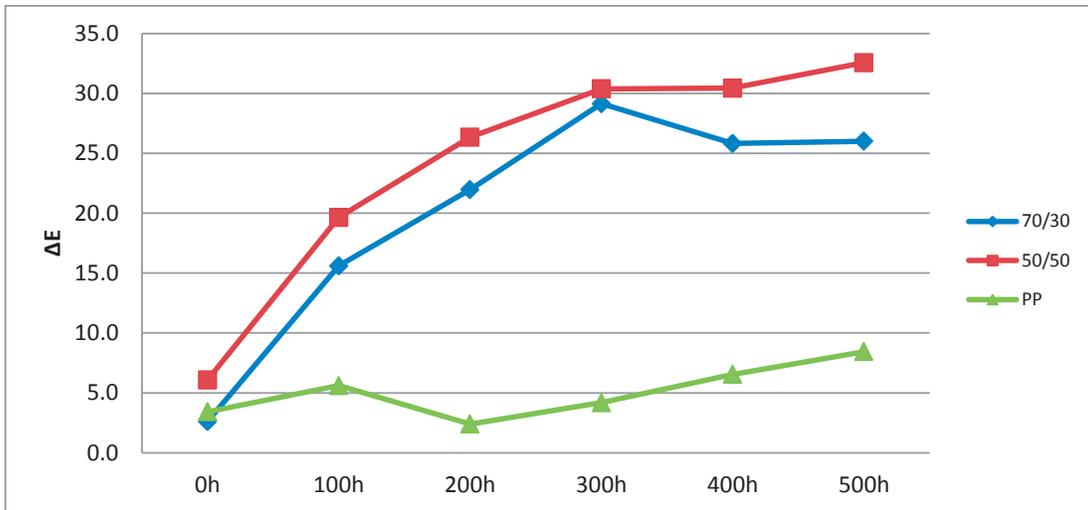
Al-Salem *et al.* (2015) en intemperismo acelerado para compuestos de Polietileno virgen de baja densidad combinados con residuos de plástico sólido en proporciones 100/0, 75/25, 50/50, 360 , 25/75 y 10/90 y utilizando las mismas condiciones T1R1 empleadas en el presente trabajo. Al realizar mediciones de claridad  $L^*$  la proporción 75/25 mostró los cambios más notorios al cambiar a las 360 horas de un valor  $L$  de 22,4 a 24,2 y también sufrió el mayor incremento  $\Delta E$  al pasar de 2,3 a 4,1.

Te-Hsin *et. al* (2015) para compuestos hechos con partículas de madera y Polipropileno en diferentes proporciones y después de 360 días de intemperismo natural obtuvo valores para  $L$  entre 68-70 y valores  $\Delta E$  alrededor de 40; además los compuestos con mayores contenidos de madera fueron los que experimentaron el mayor aumento de claridad  $\Delta L$  y mayores valores  $\Delta E$ .

Por su parte Cárdenas (2012) para compuestos de pino y PP obtuvo valores de variación en porcentaje de  $\Delta L$  cercanos a 33por ciento después de 168 días de intemperismo natural.

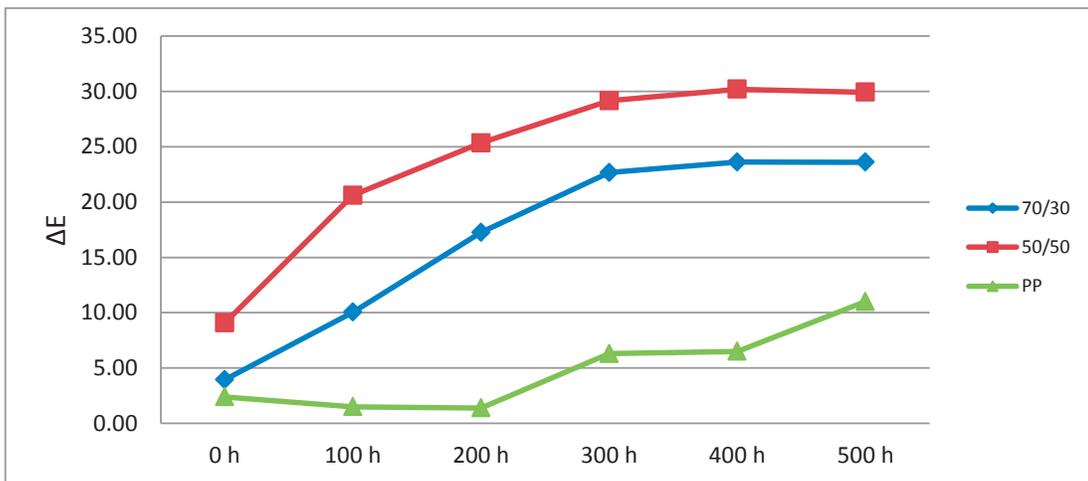
En las Figuras del 12 al 15, se puede observar la evolución de los cambios de color con el transcurso de las 500 horas para las dos proporciones de compuesto y polipropileno puro. En las referidas Figuras se puede apreciar que el compuesto de proporción 50/50 sufre los mayores cambios de color  $\Delta E$  en comparación con la proporción 70/30 al pasar 500 horas de intemperismo artificial para todos los tratamientos.

En la Figura 12, los valores inician en valores  $\Delta E$  cercanos, pero los compuestos plástico/bambú son los que ya a las primeras 100 horas cambian notoriamente sus valores hasta llegar a las 300 horas donde empieza una tendencia constante.



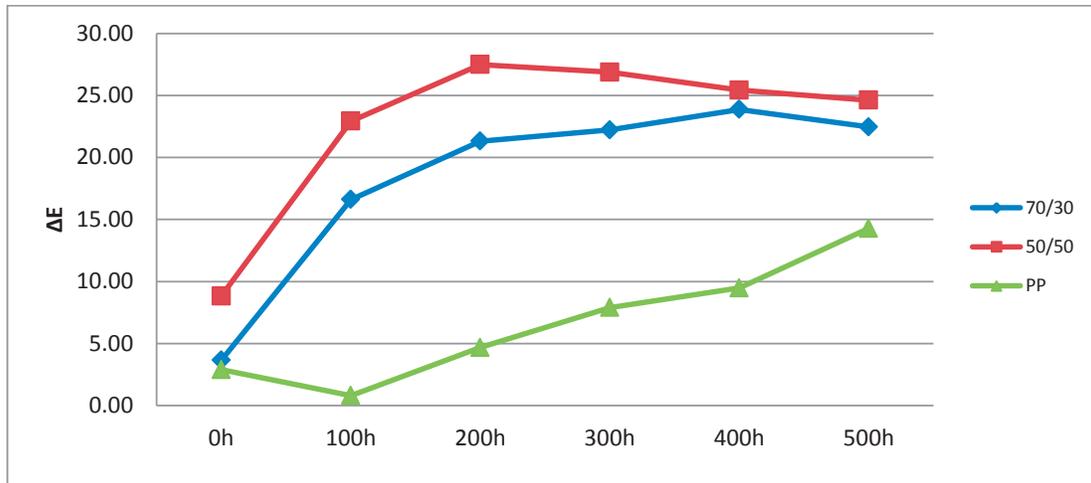
**Figura 12:** Variación de color ( $\Delta E$ ) para  $T1=60^{\circ}\text{C}$  y  $R1=0,89 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  para dos proporciones de compuestos PP/bambú y PP puro después de 500 horas en cámara QUV.

En la Figura 13, los compuestos plástico/bambú también son los que a las primeras 100 horas cambian notoriamente sus valores hasta llegar a las 300 horas donde empieza una tendencia constante. Esto se debe a la lixiviación de extractivos por parte del agua que sufren las probetas. El comportamiento del PP puro al no sufrir lixiviación tiene cambios menos drásticos.



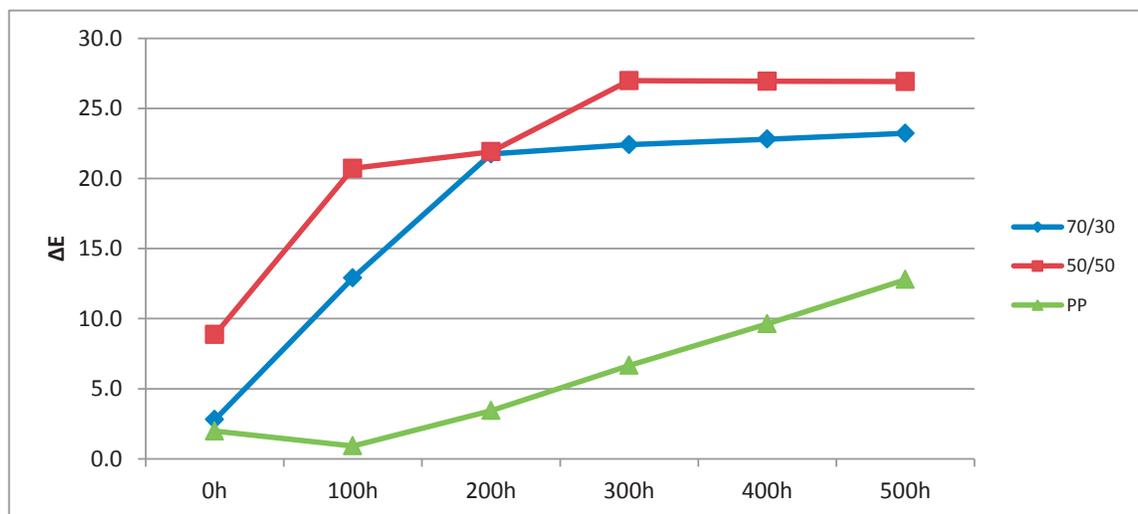
**Figura 13:** Variación de color ( $\Delta E$ ) para  $T1=60^{\circ}\text{C}$  y  $R2=1,55 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  para dos proporciones de compuestos PP/bambú y PP puro después de 500 horas en cámara QUV.

La Figura 14 muestra que los cambios más notorios para los compuestos plástico/bambú se dan en las primeras 200 horas, después de las cuales las líneas tienen una tendencia constante.



**Figura 14:** Variación de color ( $\Delta E$ ) para  $T_2=70^\circ\text{C}$  y  $R_2=1,55 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  para dos proporciones de compuestos PP/bambú y PP puro después de 500 horas en cámara QUV.

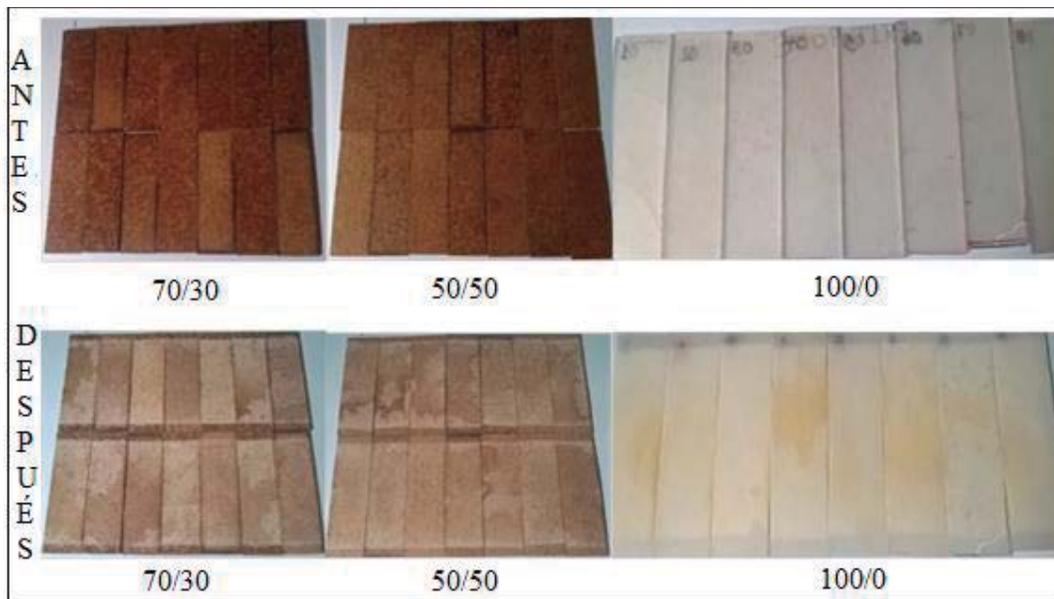
En la Figura 15, los cambios más notorios en los compuestos se dan en las primeras 300 horas, a partir de las cuales la curva se suaviza.



**Figura 15:** Variación de color ( $\Delta E$ ) para  $T_2=70^\circ\text{C}$  y  $R_1=0,89 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  para dos proporciones de compuestos PP/bambú y PP puro después de 500 horas en cámara QUV.

En la Figura 16 se muestran las probetas utilizadas para probar las propiedades físicas y que a su vez se utilizaron para la medición de la claridad  $L^*$  y cambio de color  $\Delta E$ . Lo que se obtuvo como resultado en todos los tratamientos y para las dos proporciones en cuanto a la apariencia fueron muy similares entre ellas. A simple vista, se nota una decoloración y un vetado como resultado de la acumulación de extractivos en algunas zonas de la probeta. Este efecto hace notar la acción del vapor de agua durante los ciclos de condensación en la cámara.

Al respecto Huang *et al.* (2012) al realizar un estudio sobre variación de color para tres especies de madera tratadas térmicamente y expuestas a intemperismo artificial en cámaras de Arc Xenón y con aspersores de agua por 1512 horas observaron que los extractivos se lixivian por el agua, dejando una superficie gris rica en celulosa parcialmente degradada y pobre en contenido de lignina.

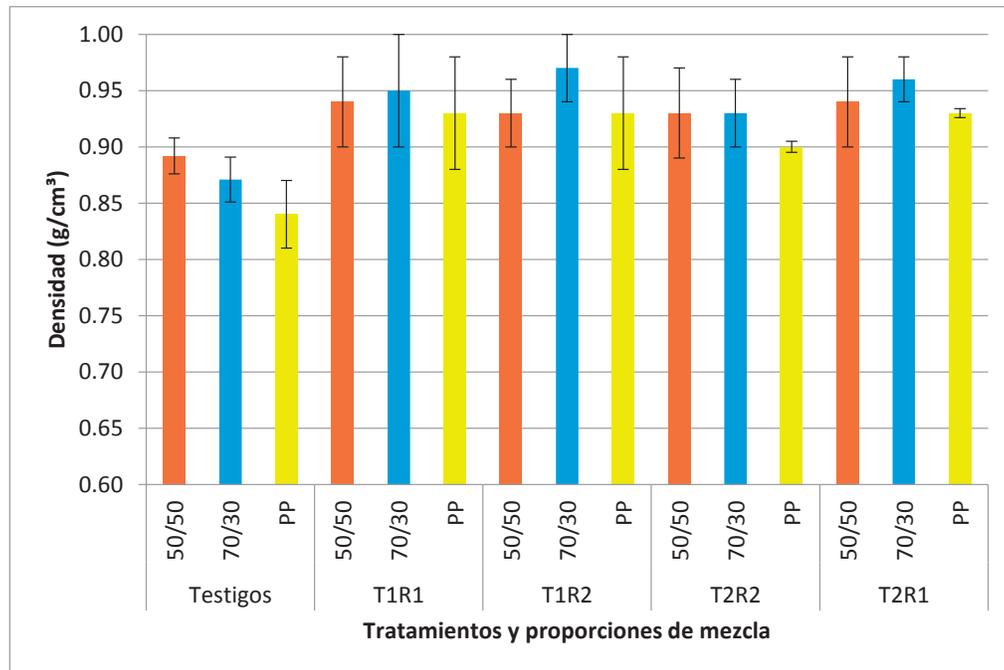


**Figura 16:** Probetas expuestas en cámara QUV-SE antes y después de las 500 horas de exposición. A la izquierda: proporción 70/30; centro: proporción 50/50 ; derecha: Polipropileno puro.

### 3. PROPIEDADES FÍSICAS

#### 3.1. DENSIDAD

En la Figura 17 se muestran los resultados para las probetas en dos proporciones de mezcla y polipropileno puro después de los cuatro tratamientos de 500 horas en cámara QUV-SE con dos temperaturas  $T1=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $T2=70\text{ }^{\circ}\text{C}$  y dos radiaciones  $R1=0,89\text{ w/m}^2/\text{nm}$  y  $R2=1,55\text{ W/m}^2/\text{nm}$ , además de probetas testigo.



**Figura 17: Valores de densidad alcanzados por compuestos en dos proporciones 50/50, 70/30 y PP al 100 por ciento después de 500 horas con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado.**

Las densidades de los tres tipos de probetas aumentaron como resultado de las 500 horas de intemperismo. La proporción 70/30 alcanzó  $0,97\text{ g/cm}^3$  y la proporción 50/50 alcanzó  $0,94\text{ g/cm}^3$ . Sin embargo, la diferencia en este aumento dentro de los cuatro tratamientos no es significativa para ninguna de los tipos de probetas, existiendo la mayor diferencia de  $0,04\text{ g/cm}^3$  entre la proporción 70/30 de T1R2 y T2R2, manteniendo valores cercanos a la diferencia que existe en los testigos.

En los resultados mostrados se aprecia como aumenta la densidad del polipropileno en comparación con su testigo, esto debido a la pérdida de volumen y esa disminución influye también en el aumento de la densidad de las probetas polipropileno/partículas de bambú.

Por lo tanto el aumento de densidad fue mayor en cuanto hubo un mayor contenido de polipropileno constituyente de la probeta. De este modo las probetas con 100 por ciento de PP llegan a incrementar su densidad en 10,7 por ciento, las que contienen 70 por ciento de PP incrementan su densidad en 9,5 por ciento y las que tienen 50 por ciento de PP aumentan en 5 por ciento.

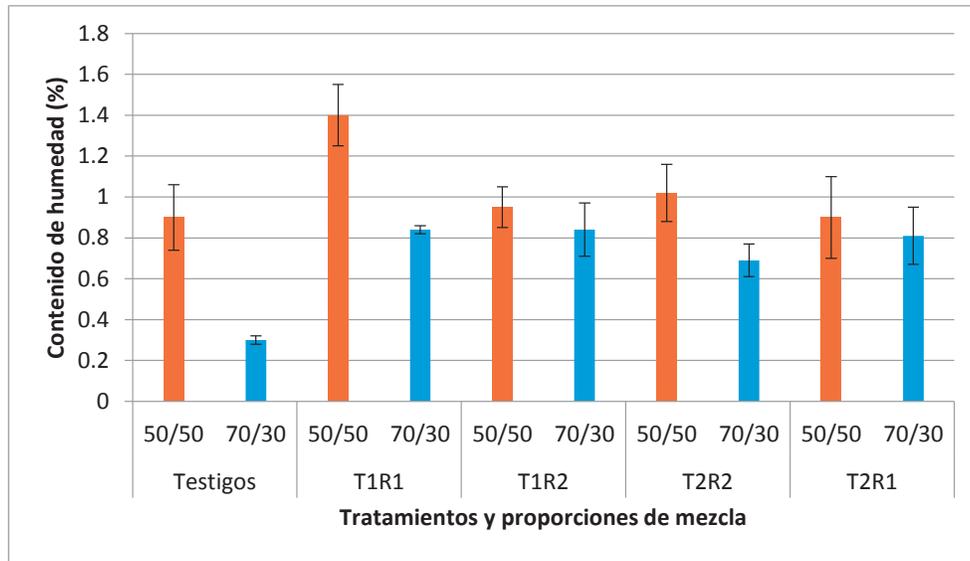
La disminución en el volumen -y su consecuente aumento en densidad- se explicaría porque el polipropileno, al ser un polímero semicristalino, es susceptible de sufrir contracciones térmicas y formación de cristales por efectos de la temperatura (Marchante 2012), además Stark (2007) menciona que los rayos UV tienen el efecto de romper las cadenas de polímeros, en cadenas de menor tamaño y generar procesos de recristalización.

Las diferencias entre los efectos de los tratamientos en el análisis de varianza resulta significativo ( $P=0,043 < 0,05$ ). Al realizar pruebas de Tukey, el mayor efecto en el cambio de densidad se obtuvo con la temperatura  $T_2=70\text{ }^\circ\text{C}$  y la radiación  $R_1=0,89\text{ w/m}^2/\text{nm}$  ( $T_2R_1$ ) (Anexo 2).

### **3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD (C.H. %)**

La Figura 18 nos muestra los contenidos de humedad para el material elaborado en las dos proporciones de mezcla tomando en consideración sólo la proporción de partículas de bambú.

La proporción 70/30 alcanza su mayor valor de C.H.= 0,84 por ciento para  $T_1R_1$  y  $T_1R_2$ , y su menor valor C.H.=0,69 por ciento para  $T_2R_2$ . La proporción 50/50 alcanza su mayor valor de C.H.= 1,4 por ciento para  $T_1R_1$  y su menor valor C.H.=0,9 por ciento para  $T_2R_1$ .



**Figura 18: Contenido de humedad (%) alcanzados por compuestos en dos proporciones 50/50 , 70/30 después de 500 horas con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado.**

En todos los casos se obtuvieron valores de contenido de humedad menores al 2 por ciento y se mantienen por debajo de ese valor durante todas las pruebas de intemperismo realizados.

Un contenido de 2 por ciento en humedad se considera como límite de aceptabilidad, pues contenidos de humedad por encima de este valor favorecerían la aparición de hongos en el compuesto (Cárdenas 2012).

Se encontró una influencia significativa ( $P=0,007 < 0,05$ ) sobre los contenidos de humedad que alcanzan las probetas posterior a su exposición en la cámara QUV para  $T1=60\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $R1=0,89\text{ w/m}^2/\text{nm}$  (T1R1) (ver Anexo 3) bajo esas condiciones la proporción que alcanza un mayor contenido de humedad es la de 50/50.

Como era predecible, los compuestos con mayor contenido de bambú ó 50/50 son los que presentan los mayores contenidos de humedad. La proporción 70/30 es la que muestra mayor incremento en su contenido de humedad respecto al testigo (Figura 13), probablemente al ser las probetas que tienen una mayor cantidad de plástico a degradar. Además, según Lázaro (2016) quién realizó la evaluación de las propiedades físico mecánicas de los compuestos utilizados en este trabajo, encontró que la proporción 50/50 fue la que mejor respondió al acoplamiento con el plástico y cita a Faruk (2012) para explicar que esto se debería a la existencia de un mayor área de contacto en las fibras por lo

que se ha podido formar enlaces con el agente acoplante evitando que las partículas absorban humedad del medio ambiente.

Sin embargo, Te-Hsin (2015) en un estudio sobrepasó el 2 por ciento en contenido de humedad a los 90 días de intemperismo natural para compuestos hechos con partículas de pino y abeto y polipropileno en diferentes proporciones.

### **3.3. ABSORCIÓN DE AGUA**

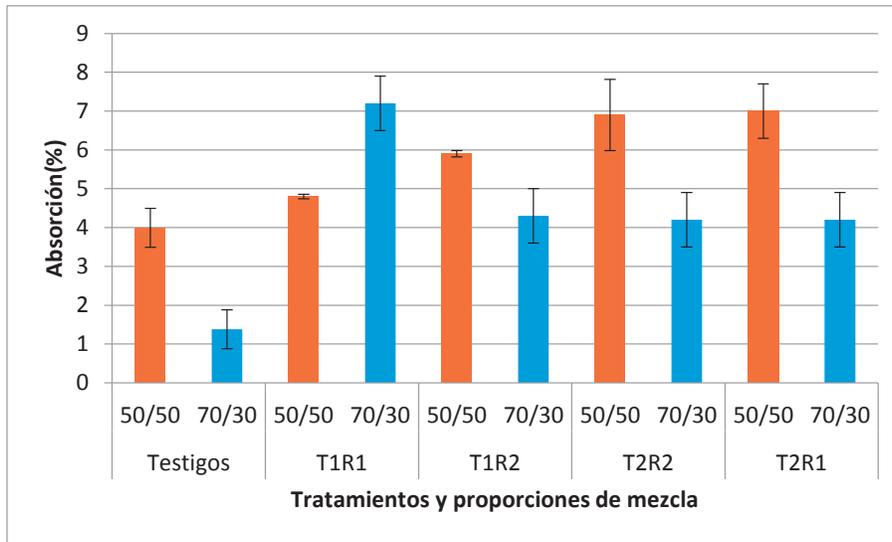
Los resultados para absorción de agua a las 2 horas se muestran en la Figura 19 y la absorción a las 24 horas en la Figura 20.

El mayor valor de absorción obtenido a las 2 horas por la proporción 70/30 fue de 7,2 por ciento y para la proporción 50/50 fue de 7 por ciento; en tanto que para la prueba de 24 horas, la proporción 70/30 fue de 19,2 por ciento y para la proporción 50/50 fue de 18,5 por ciento.

Los valores de absorción de agua más altos, tanto para la prueba de 2 horas como la de 24 horas, han sido alcanzados por la proporción 50/50 para tres de los tratamientos T1R2, T2R2 y T2R1. Y las diferencias de porcentajes de absorción entre las dos proporciones 50/50 y 70/30, tanto para la prueba de 2 horas como para la de 24 horas, se mantienen cercanas a las diferencias entre los testigos para los tres tratamientos a excepción del T1R1. Esto se condice con el hecho de no existir diferencias entre las 4 condiciones de exposición programadas en la cámara, dado que la radiación acumulada y medida por el radiómetro de la cámara QUV-SE (Tabla 7) fueron muy similares.

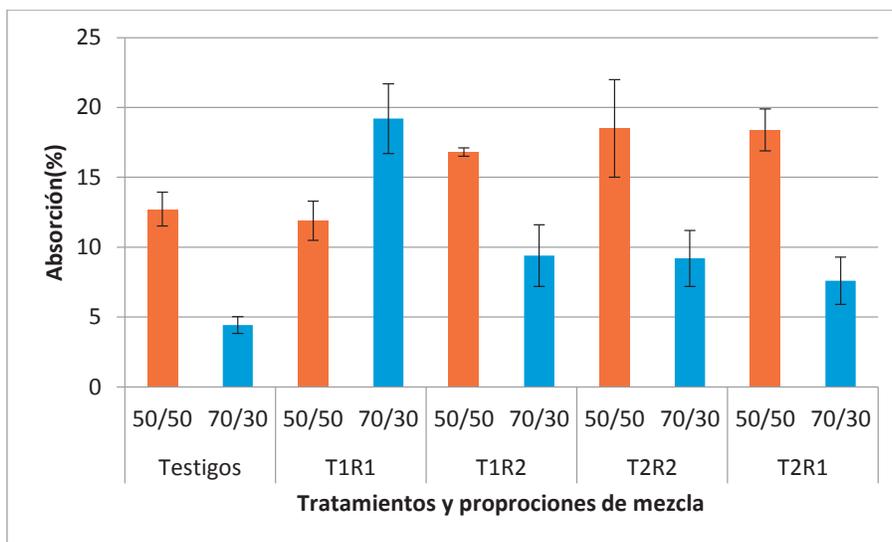
El hecho de que la proporción 50/50 alcance los valores más altos se debe a que la absorción de agua está directamente relacionada con la cantidad de madera, el tipo de madera utilizada y el tamaño de partículas; además está influenciada por el proceso de fabricación; así la inyección puede recubrir con mayor efectividad a las partículas y comprimir más los lúmenes de las células a diferencia de la extrusión (Stark *et al.*2004; Fabiyi 2007).

En el análisis de varianza al realizar la combinación de los efectos de la radiación y la temperatura no se observa diferencias significativas en los tratamientos ( $P=0,24 >0,05$ ).



**Figura 19:** Absorción de agua a las 2 horas para dos proporciones de mezcla después de 500 horas en cámara QUV con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado.

En la Figura 20, se muestra la absorción a las 24 horas. Es importante hacer notar que el patrón de absorción de agua se mantiene con las mismas tendencias tanto para las 2 horas como para las 24 horas para los cuatro tratamientos.



**Figura 20:** Absorción de agua a las 24 horas para dos proporciones de mezcla después de 500 horas en cámara QUV con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado.

Yan *et al.* (2014) al evaluar la absorción de agua de un compuesto epoxi reforzado con fibras de lino expuestos en una cámara de intemperismo acelerado durante 1500 horas con ciclos de 12 horas de radiación UV a 60 °C seguidos de 3 horas de aspersión de agua obtuvo valores de 3,5 por ciento a las 2 horas y de 7,9 por ciento a las 24 horas. En otro estudio, Te-Hsin (2015) para compuestos elaborados con pino y abeto con polipropileno, después de un año de intemperismo natural obtuvo valores de absorción de agua de 1,5 por ciento para proporciones 50/50 y de 0,9 por ciento para proporciones 70/30.

### **3.4. HINCHAMIENTO**

Las Figura 21 muestra el resultado de la prueba de hinchamiento a las 2 horas y la Figura 22 muestra el resultado de la prueba de hinchamiento a las 24 horas.

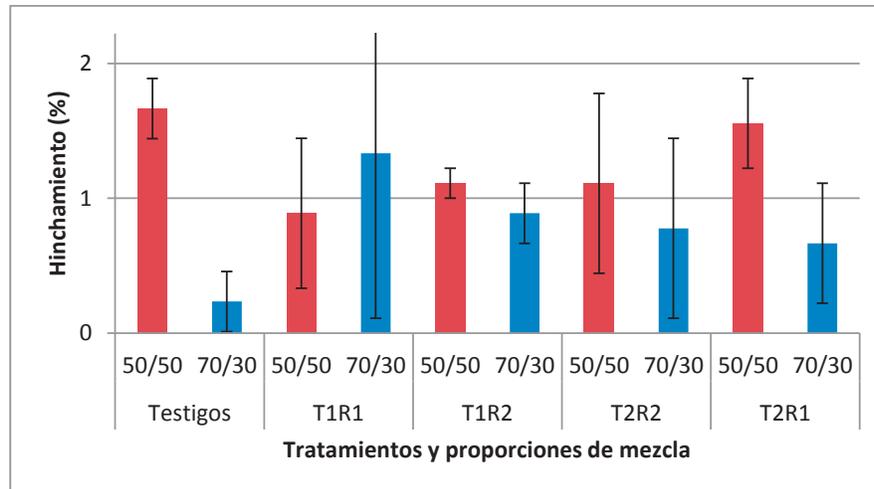
Los valores de hinchamiento más altos alcanzados a las 2 horas para la proporción 50/50 fue de 1,4 por ciento y a las 24 horas llegó a 2,4 por ciento. En cuanto que la proporción 70/30 llegó a 1,2 por ciento a las 2 horas y a 2,6 por ciento a las 24 horas.

Los valores de hinchamiento mostrados en la Figura 21 se mantienen en los valores cercanos a los testigos para la proporción 50/50 en la prueba de 2 horas. Sin embargo, los valores de hinchamiento para la prueba de 24 horas en la proporción 50/50 es menor que los testigos para todos los tratamientos. Esto puede deberse nuevamente a los fenómenos de contracción que sufren los plásticos al ser sometidos a temperaturas, sobre todo si se tiene en cuenta que la prueba de hinchamiento según norma necesita de un acondicionamiento de 24 horas en estufa a 50 °C.

Las grietas originadas en el compuesto como resultado de procesos de degradación, permiten el ingreso de agua, y este efecto ha sido más notorio para las probetas que han tenido mayor cantidad de polipropileno, esto explicaría los valores que alcanza las probetas de proporción 70/30 comparada con el testigo.

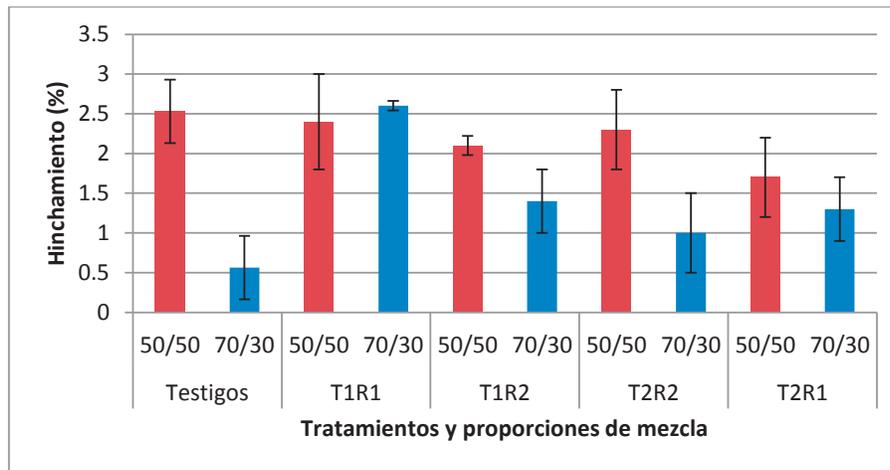
Stark y Matuana (2007) mencionan que a mayores valores de hinchamiento corresponde menores densidades lo cual se corresponde con los resultados obtenidos.

En análisis de varianza al evaluar los efectos combinados de temperatura y radiación no se aprecian diferencias significativas ( $P=0,89$ ), ni tampoco diferencias significativas para la temperatura o la radiación tomados individualmente.



**Figura 21: Hinchamiento a las 2 horas para dos proporciones de mezcla después de 500 horas en cámara QUV con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado.**

Los valores de hinchamiento para 24 horas, muestran el mismo patrón que la prueba a las 2 horas.



**Figura 22: Hinchamiento a las 24 horas para dos proporciones de mezcla después de 500 horas en cámara QUV con cuatro tratamientos de intemperismo acelerado.**

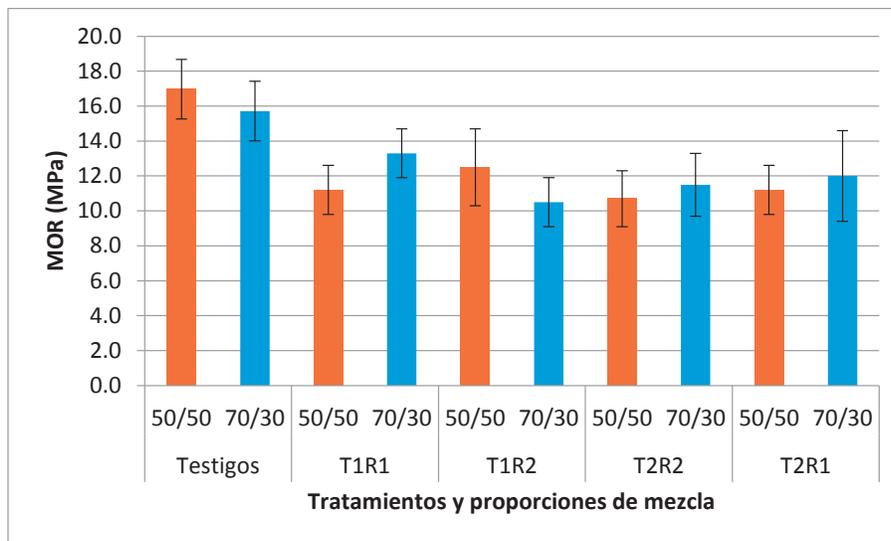
Yan *et al.* (2014) al evaluar la absorción de agua de un compuesto epoxi reforzado con fibras de lino expuestos en una cámara de intemperismo acelerado durante 1500 horas con ciclos de 12 horas de radiación UV a 60 °C seguidos de 3 horas de aspersión de agua obtuvo valores de hinchamiento a las 2 horas de 0,62 por ciento y a las 24 horas de 0,92 por ciento.

## 4. PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4.1. TENSIÓN

En la Figura 23 se muestra el efecto del intemperismo acelerado para las dos proporciones de mezcla en la resistencia máxima en tensión.

La proporción 50/50 es la que presenta una disminución respecto al testigo de pasando de 17 MPa a 10,7 MPa, diferencia mayor que la proporción 70/30 que disminuye en 15,7 MPa a 10,5 Mpa. Sin embargo, luego del análisis estadístico, no se encontró influencia significativa en las diferencias de medias para los tratamientos de los efectos combinados de temperatura y radiación ( $P=0,656>0,05$ ).



**Figura 23: Resistencia máxima en tensión para dos proporciones de mezcla después de 500 horas de intemperismo acelerado.**

En principio Stark (1997) reporta valores entre 20 y 24 MPa para resistencia a la tensión de compuestos plástico madera en proporción 50/50 y entre 25 y 27 MPa para proporción 70/30, valores superiores en comparación con valores obtenidos con el compuesto que se elaboró para este trabajo.

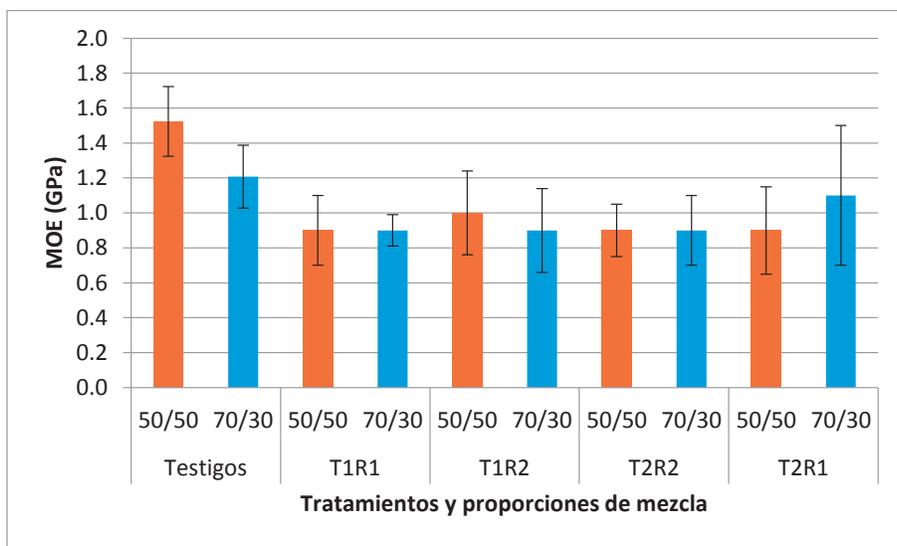
Bhandari *et al.* (2012) menciona que la resistencia de los compuestos en tensión es inversamente proporcional con la cantidad de partículas lo que se corresponde en este estudio con la menor resistencia que presenta la proporción 50/50 en comparación con la proporción 70/30.

La Tabla 12 muestra la variación en porcentaje del MOR respecto al testigo. La proporción 50/50 alcanza una mayor variación de 37 por ciento y la proporción 70/30 de 33,2 por ciento.

**Tabla 12: Porcentaje de variación de resistencia máxima MOR en tensión después de 500 horas de intemperismo acelerado.**

Proporción	Tratamiento			
	T1R1	T1R2	T2R2	T2R1
50/50	-34,0 %	-26,3%	-37,0%	-34,0%
70/30	-15,4 %	-33,2%	-26,8%	-23,6%

En cuanto al módulo de elasticidad en tensión, graficada en la Figura 24, los resultados obtenidos muestran la disminución para ambas proporciones, casi en el mismo grado entre los tratamientos. Así la proporción 70/30 pasa de 1,5 Gpa a 0,9 Gpa; y la proporción 50/50 pasa de 1,2 Gpa a 0,9 GPa. La diferencia entre las medias estadísticamente no es significativa ( $P=0,062 > 0,05$ ). La proporción que experimentan las mayores disminuciones son la de 50/50 para todos los tratamientos.



**Figura 24: Módulo de elasticidad en tensión para dos proporciones de mezcla después de 500 horas de intemperismo acelerado.**

Stark (1997) da valores de entre 4,0 y 4,8 GPa para compuestos con proporción 50/50 y 2,5 y 3,8 GPa para proporciones 70/30, nuevamente valores superiores a los obtenidos con el compuesto plástico-bambú objeto de este estudio.

En la Tabla 13 se muestran las variaciones en porcentaje que experimenta el MOE transcurridas las 500 horas de exposición. La mayor variación que experimenta la proporción 50/50 es de 40,9 por ciento, mientras que la proporción 70/30 alcanza valores de 25,5 por ciento.

**Tabla 13: Porcentaje de variación del módulo de elasticidad MOE en tensión después de 500 horas de intemperismo acelerado.**

Proporción	Tratamiento			
	T1R1	T1R2	T2R2	T2R1
50/50	-40,9 %	-34,4 %	-40,9 %	-40,9 %
70/30	-25,5%	-25,5%	-25,5%	-8,9 %

La mayor cantidad de partículas en la matriz crea espacios en el compuesto lo cual lo debilita ante las fuerzas de tensión, tomando en cuenta la dirección con la que la fuerza es aplicada, es por ello que la proporción 50/50 mantiene valores más bajos al final de las pruebas de intemperismo.

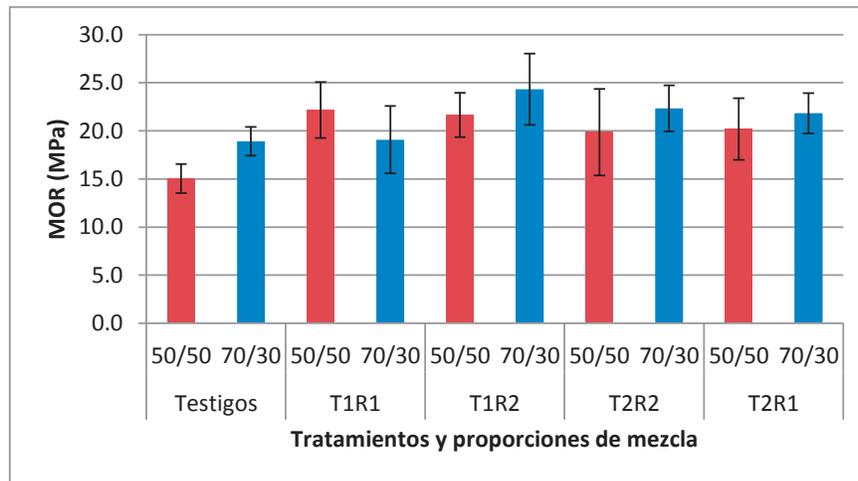
En pruebas de intemperismo acelerado Beninia *et al.* (2011) al realizar pruebas de intemperismo acelerado en cámara QUV con una bombilla fluorescente UVB-313 con 0.76 w/m<sup>2</sup>/nm para comparar poli estireno de alto impacto y poli estireno reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar mercerizada y blanqueada, encontró una disminución para el MOR en tensión después 900 horas de 27, 7 MPa a 22,08 Mpa para la proporción con mayor contenido de bagazo (20 por ciento). Y para el MOE en tensión obtuvieron un ligero aumento en algunos casos y en otros se mantuvieron en valores cercanos a 3,8 GPa.

Yan *et al.* (2014) al evaluar la absorción de agua de un compuesto epoxi reforzado con fibras de lino expuestos en una cámara de intemperismo acelerado durante 1500 horas con ciclos de 12 horas de radiación UV a 60 °C seguidos de 3 horas de aspersión de agua obtiene variaciones para el MOR inicial de 115,8 MPa a un MOR posterior a la exposición de 82,5 MPa y para el MOE inicial de 8,96 GPa a un MOE posterior a la exposición de 5,66 GPa.

#### **4.2. FLEXIÓN**

La Figura 25 y Figura 26 muestran los valores para el MOR y el MOE en flexión respectivamente después de 500 horas de intemperismo acelerado.

En el caso del MOR en flexión los valores llegan a aumentar hasta 29,4 Mpa para la proporción 50/50 y para la proporción 70/30 aumenta hasta 23,7 Mpa.



**Figura 25: Resistencia máxima en flexión para dos proporciones de mezcla después de 500 horas de intemperismo acelerado.**

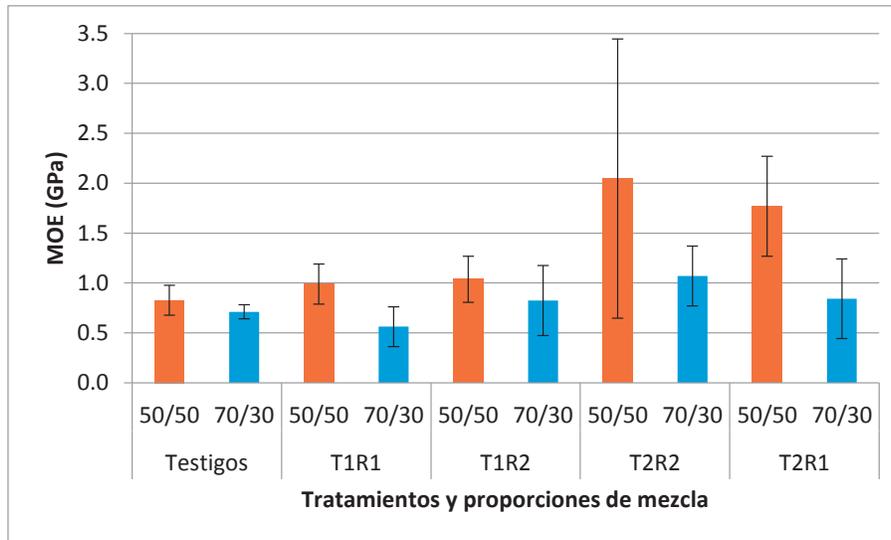
En el análisis estadístico no se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos de radiación y temperatura (Anexo 8).

La Tabla 14 nos muestra el aumento en términos de porcentaje para el MOR en flexión, donde se aprecia que la proporción 50/50 aumenta en un máximo de 47,3 por ciento respecto al testigo o valor inicial y para la proporción 70/30 alcanza un aumento máximo de 28,6 por ciento respecto al testigo.

**Tabla 14: Aumento en porcentajes de MOR en flexión para los compuestos en dos proporciones después de 500 horas de intemperismo acelerado.**

Proporción	Tratamiento			
	T1R1	T1R2	T2R2	T2R1
50/50	47,3 %	43,8 %	32,1%	34,1%
70/30	0,9 %	28,6 %	18,07 %	15,4 %

En el caso del MOE en flexión mostrado en la figura 26, los valores llegan a aumentar hasta 2,0 Gpa para la proporción 50/50 y para la proporción 70/30 aumenta hasta 1,1 Gpa.



**Figura 26: Módulo de elasticidad en flexión para dos proporciones de mezcla después de 500 horas de intemperismo acelerado.**

En el análisis estadístico no se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos de radiación y temperatura (Anexo 8).

Para el MOE en flexión, dado que no hay diferencia entre las medias producto de los tratamientos de temperatura y radiación para varios de los ensayos puesto que las condiciones han mostrado ser muy similares entre sí, la disminución en porcentaje de la proporción 70/30 para T1R1 (Figura 26 y Tabla 15) se debería a errores de variables no controladas en el experimento.

Los resultados graficados en la Figura 25 y 26 muestran que hay un incremento tanto para el MOR y el MOE en flexión respecto a los testigos. Quintana (2011) reporta una respuesta similar para compuestos elaborados con madera de pino y PP que fueron sometidos a 4 meses de intemperismo natural justificando que dicho incremento se debería a un reordenamiento de la capa polimérica.

En la Tabla 15, se aprecia el aumento en porcentajes para el MOE en flexión, donde la proporción 50/50 tiene un aumento máximo de 147,5 por ciento y la proporción 70/30 llega a aumentar hasta en un 50,4 por ciento.

**Tabla 15: Aumento en porcentajes de MOE en flexión para los compuestos en dos proporciones después de 500 horas de intemperismo acelerado.**

Proporción	Tratamiento			
	T1R1	T1R2	T2R2	T2R1
50/50	19,7 %	25,4 %	147,5 %	114,0 %
70/30	-20,9 %	15,8 %	50,4 %	18,4 %

En los resultados mostrados en la Tabla 14 y Tabla 15 puede verse que los mayores incrementos tanto en MOR como en MOE son los de la proporción 50/50. Como ya se mencionó la proporción 50/50 fue la que mostró una mejor adhesión en el proceso de fabricación del compuesto. Este efecto podría haber coadyuvado a la reticulación del plástico producto del intemperismo.

Stark (1997) reporta valores de resistencia máxima en flexión de entre 37 a 43 MPa para compuestos plástico madera en proporciones 50/50 y de 41 a 47 para proporciones 70/30, y para módulo de elasticidad entre 3,4 a 4,2 GPa para proporción 50/50 y de 2,3 a 2,9 GPa para proporciones 70/30. Valores superiores a los conseguidos en las probetas plástico-bambú objetos de este estudio.

Al-Salem (2015), al exponer a 360 horas de intemperismo acelerado con el ciclo “A” de una cámara QUV compuestos a base de residuos de plástico sólido con polietileno linear de baja densidad obtuvo incrementos en el MOE de hasta un 30 por ciento, ya que la fotodegradación del polietileno se inicia con la escisión de cadena, a continuación, la ramificación, reticulación y termina con la formación de un doble enlace y finalmente se pierden las zonas amorfas.

También Te-Hsin (2015) al realizar análisis FTIR para compuestos de madera y PP en intemperismo natural nos explica que como producto de la fotodegradación se produce escisión de la cadena repetidamente y reticulación, formando polímeros de moléculas cortas lo que resulta en mayor cristalinidad y mayor MOE de los materiales.

Yan *et al.* (2014) al evaluar la absorción de agua de un compuesto epoxi reforzado con fibras de lino expuestos en una cámara de intemperismo acelerado durante 1500 horas con ciclos de 12 horas de radiación UV a 60 °C seguidos de 3 horas de aspersión de agua obtiene variaciones para el MOR en flexión inicial de 131,3 MPa a un MOR en flexión

posterior a la exposición de 118 MPa y para el MOE en flexión inicial de 6,21 GPa a un MOE en flexión posterior a la exposición de 5,52 GPa.

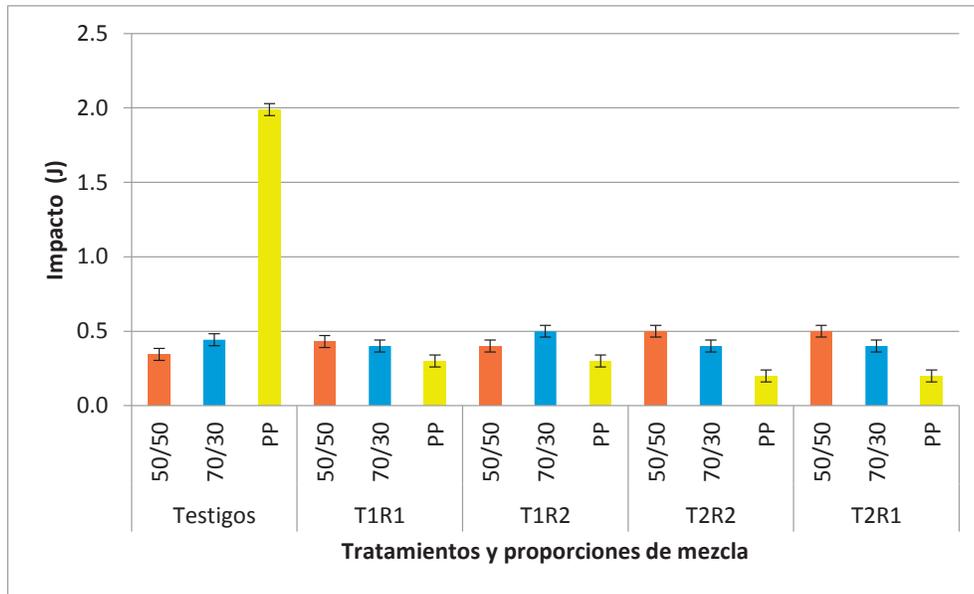
### **4.3. IMPACTO**

En la Figura 27 se aprecia que los valores de impacto para los compuestos tanto 70/30 como 50/50 se mantienen en valores similares respecto a los testigos (alrededor de 0,4 J) después de ser sometidos a intemperismo y ninguna proporción supera el valor del polipropileno.

Los valores de resistencia al impacto de las probetas utilizadas en este trabajo son muy bajos, por ello resulta difícil evaluar si hubo una disminución como resultado de las 500 horas de intemperismo, pues resulta imposible, a la escala utilizada en la prueba de impacto, obtener valores inferiores a los registrados.

En la Figura 23 resalta, sin embargo, el efecto que tiene el intemperismo sobre el polipropileno, este efecto podría deberse a la ruptura de cadenas y la cristalización de la poliolefina.

Bajwa (2015) para compuestos elaborados con 50 por ciento de fibra de roble y polietileno de alta densidad después de 2200 horas de intemperismo acelerado obtiene una disminución en impacto Izod llegando a valores entre 52,1 J/m<sup>2</sup> y 38,8 J/m<sup>2</sup>. Mientras que Cárdenas (2012) obtuvo valores de resistencia al impacto de entre 682 y 660 J/m para compuestos elaborados con harina de madera de pino 60 mesh (50 por ciento de refuerzo), polipropileno (PP) y aditivos (borato de zinc y anhídrido maléico de polipropileno), valores que no sufrieron cambios importantes después de 6 meses de intemperismo natural debiendo su resistencia al borato de zinc.



**Figura 27: Resistencia al impacto para dos proporciones de compuestos plástico-bambú después de 500 horas de intemperismo acelerado.**



## V. CONCLUSIONES

- 1) Las propiedades de los materiales compuestos plástico-bambú son afectadas por la radiación UV, después de 500 horas.
- 2) El material con 50 por ciento de bambú es la más afectada en variación de claridad ( $L^*$ ) y color ( $\Delta E$ ), expuesta a temperatura de 60 °C.
- 3) El material con 50 por ciento de bambú fue la que varió menos en densidad, presentó menor absorción de agua y por consiguiente un menor hinchamiento. También presentaron los menores valores de MOE y MOR en tensión, aunque fue lo contrario en flexión.
- 4) El material con 30 por ciento de fibras (70 por ciento de polipropileno) sufrió el mayor efecto de intemperismo.
- 5) En impacto se concluye que los compuestos elaborados tienen muy baja resistencia y su efecto por intemperismo no puede ser detectada.
- 6) De las condiciones ensayadas la condición de  $R=0,89 \text{ w/m}^2$  fue la que mostró efecto importante sobre los resultados.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar intemperismo acelerado en función a características inherentes al material (tamaños de partículas, proporciones de mezcla, aditivos, etc.)
- Probar aditivos que protejan al compuesto de la radiación UV. Además probar otras especies de bambú o tipos de maderas.
- La realización de pruebas FTIR, para analizar los cambios químicos que se producen por efecto del intemperismo y microscopía SEM para analizar los daños que sufre la superficie de los compuestos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Sharkh, B; Hamid, H. 2003. Degradation study of date palm fibre/polypropylene composites in natural and artificial weathering: mechanical and thermal analysis. *Polymer degradation and stability*. 85(3): 967-973.
- Al Salem, S.; Abraham, G.; Al-Qabandi O.; Dashti, A.2015. Investigating the effect of accelerated weathering on the mechanical and physical properties of high content plastic solid waste (PSW) blends with virgin linear low density polyethylene (LLDPE). *Polymer Testing* 46: 116-121.
- ASTM (American Society for Testing and Materials,US).1997. Standard Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices that Use Laboratory Light Sources. G 151-97.
- \_\_\_\_\_. 1998. Standard Test Method fo Water absortion of plastics. D 570-98.
- \_\_\_\_\_. 1999. Standard Practice for Standard Practice for Fluorescent UV Exposure of Plastics. D 4329
- \_\_\_\_\_. 2003a. Standard Test Method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and insulating materials. D 790-03.
- \_\_\_\_\_. 2003b. Standard Test Method for tensiles properties of plastics. D 638-3.
- \_\_\_\_\_. 2004. Standard Test Method for impact Resistant of Flat, Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weigth (Gardner Impact). D5420-04.
- \_\_\_\_\_. 2013. Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics. D1435-13.
- ATLAS. 2001. Weathering Testing Guidebook, Atlas Material Testing Solutions (en línea) Illinois, Estados Unidos. Consultado 25 abr. 2015. Disponible en: <http://www.atlas-mts.com/>
- Bajwa, D; Bajwa, S; Holt, G; 2015. Impact of biofibers and coupling agents on the weathering characteristics of composites. *Polymer Degradation and Stability*. 120(1): 212-219.

- BCC Research (Business Communications Company, US). 2014. Wood-Plastic Composites: Technologies and Global Markets (en línea). Consultado el 03 de marzo del 2015. Disponible en <http://www.bccresearch.com/market-research/plastics/wood-plastic-composites-technologies-report-pls034c.html> .
- Bhandari, N; Thomas, S; Das, Ch; Adhikari. R. 2012. Analysis of morphological and mechanical behaviours of bamboo flour reinforced polypropylene. *Nepal Journal of Science and Technology*. 13(1): 95 – 100.
- Belec, L; Nguyen, T; Nguyen, D; Chailan, J. 2014. Comparative effects of humid tropical weathering and artificial ageing on a model composite properties from nano- to macro-scale. *Composites: part A* (68): 236-241
- Beninia, K.; Voorwald, H.; Cioffi, M. 2011. Mechanical properties of HIPS/sugarcane bagasse fiber composites after accelerated weathering. *Proced Engineering* 10: 3246-3251
- Cárdenas, A. 2012. Evaluación de la eficiencia como preservante antifúngico del borato de Zinc y su efecto en las propiedades físicas y mecánicas de materiales compuestos de plástico y madera de pino. Tesis Maestro en Ciencias de Productos Forestales. Jalisco, MX. Universidad de Guadalajara. 158 p.
- Castaño, F; Moreno, R.2004. Guadua para todos, cultivo y aprovechamiento. Bogotá, CO. Panamericana formas e impresos S.A. 190 p.
- Cherian, M.; Leao, L.; Chaves, M.; De Souza, S.; Sain, M.; Narine, S. 2012. Environmental ageing studies of chemically modified micro and nanofibril phenol formaldehyde composites. *Industrial crops and products*. 49 (1):471-483.
- CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)1989. Technical report – Solar spectral irradiance. International Commission on illumination, Publication No. 85.
- CONAMA (Congreso nacional del medio ambiente España). 2014. Monográfico CONAMA. Congreso nacional del medio ambiente (12, 2014, Madrid, ES) (en línea). Madrid, ES. Consultado 15 mar. 2015. Disponible en: <http://www.conama2014.conama.org/web/index>.

- Colaboradores de Wikipedia. 2016. El polipropileno (En Línea). Wikipedia, la enciclopedia libre, 2016. Consultado 24 may. 2016. Disponible en <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Polipropileno&oldid=94615556>.
- Cruz, H. 2009. Bambú-Guadua (*Guadua angustifolia* K): Bosques naturales en Colombia, Plantaciones comerciales en México. Bogotá, CO. Colmex. 720 p.
- Cuéllar, A.; M. I. 2009. Fibra de Guadua como refuerzo de matrices poliméricas. DYNA 77(162):137-142.
- Essentia. 2014. Catálogo de productos (en línea). Bogotá, CO. Consultado 21 mar.2015. Disponible en <https://www.esentia.co/?lang=es&opc=4> .
- Expoplast. 2014. Expoplast Peru, Feria Internacional de la Industria del Plástico. Boletín (en línea). Lima, PE. Consultado 15 Marzo 2015. Disponible en: <http://www.expoplastperu.com>.
- Fabiyi, J; McDonald,A; Morrell,J; Freitag, C.2011. Effects of wood species on durability and chemical changes of fungal decayed wood plastic composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 42(5): 50-510
- Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook -Wood as an engineering material. Gen.Tech.Rep.FPL-GTR-113. Madison,US. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.
- GBI Research (Global Business Intelligence). 2010. Mundo Plast: Polypropylene Market to 2020-Propylene Supply Shortages to Restrict Industry Expansion (en línea). Consultado el 9 de marzo del 2015. Disponible en: <http://www.mundoplast.com>.
- Herrera, M; Padilla, E; Zaleta, A; Lozano, J; Rodríguez, D. 2013. Prototipo experimental para el envejecimiento artificial por intemperismo. Congreso internacional anual de la SOMIM (19,2013, Pachuca, México). Pachuca, MX: 395-403.
- Huang, X; Kocaefe, D; Kocaefe, Y; Boluk,Y; Pichette, A.2012. A spectrophotometric and chemical study on color modification of heat-treated Wood during artificial weathering. Applied Surface Science.258(14): 5360-5369.
- Kinoshita, H; Kaizu, K; Fukuda, M; Tokunaga, H; Koga, K.; Ikeda,K 2009. Development of green composite consists of woodchips, bamboo fibers and biodegradable adhesive. Composites: Part B (40) 607-612

- Klyosov, A, 2007. Wood-Plastic Composite. 1 ed. New Jersey, Estados Unidos. Jhon Wiley & Sons. 690 p.
- Lázaro, K. 2016. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del material compuesto plástico-bambú. Tesis Ing. Forestal. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 180 p.
- Lucana, D. 2008. Diseño de un molde para la fabricación de probetas de materiales compuestos e matriz plástica y refuerzos de fibras naturales mediante compresión térmica. Tesis Ing. Mecánico. Lima, PE. Pontificia Universidad Católica del Perú. 101 p.
- Perú Bambú. 2009. Promoción de la rehabilitación, manejo y uso sostenible de los bosques tropicales de Bambú en la región Noroccidental del Perú: Inventario de bosques de bambú en el ámbito del proyecto PD4287 Rev.2(F). (en línea) Lima, PE. Consultado el 18 mar. 2015. Disponible en <http://perubambu.org.pe/pdf/Inventario-Bambu-Peru/Bambu-1.pdf>
- Marchante, V. 2012. Síntesis y caracterización de nanopigmentos basados en nanoarcillas: Aplicación en polímeros termoplásticos y evaluación de propiedades físico químicas. Tesis Doctor en Ingeniería Química. Alicante, ES. Universidad de Alicante. 286 p.
- Matuana, L. K. D., 2002. Accelerated ultraviolet weathering of PVC/Wood-flour composites. *Polymer Engineering Science* 42(8): 1657-1666.
- Matuana, L., Jin, S. & Stark, N., 2011. Ultraviolet weathering of HDPE/wood-flour composite coextruded with a clear HDPE cap layer. *Polymer degradation and stability* 96(1):97-106.
- Mercedes, J. 2006. Cultivo del bambú. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. CEDAF, Santo Domingo, DO. 37 p.
- METAS (Metas & meteorólogos asociados). 2009. Boletín 2009-07: Medición de color (en línea). Jalisco, MX. Consultado 10 de jun 2016. Disponible en: <http://www.metas.com.mx/guiametas/la-guia-metas-09-07-medicion-de-color.pdf>
- Moreno, E; Trujillo, E; Osorio, L, 2007. Estudio de las características físicas de haces de fibra de *Guadua angustifolia* Kunth. *Scientia and Technical* XIII (34): 613-617.

- Morrel, J; Stark, N; Pendleton, D; McDonald, A. 2010. Durability of Wood-Plastic Composites. International Conference on Wood y Biofiber Plastic Composites (10, 2010, Madison, US). Madison ,US. 71-75.
- Peng,Y; Liu R; Chen,Y. 2014. Effects of UV weathering on surface properties of polypropylene composites reinforced with wood flour, lignin, and cellulose. *Applied Surface Science* 317: 385-392
- \_\_\_\_\_ ; Chen, J. 2015. Characterization of surface chemistry and crystallization behavior of polypropylene composites reinforced with wood flour, cellulose, and lignin during accelerated weathering. *Surface Science Aplicada*, 332: 253-259.
- Pickering, K.2008. Accelerated weathering of unbleached and bleached Kraft wood fibre reinforced polypropylene composites. *Polymer degradation and Stability*, 93(10):1939-1946.
- Picket, J; Gibson,D; Rice, S ; Gardner, M. 2007. Effects of temperature on the weathering of engineering thermoplastics. *Polymer Degradation and Stability* 93(3):684-691
- Q-LAB(Q-Lab Corporation, US). 2008. Cámaras de ensayo de intemperismo acelerado. Technical Bulletin LU-0801.
- \_\_\_\_\_. 2012. A Choice of Lamps for the QUV Accelerated Weathering Tester. Technical Bulletin LU-8160.
- \_\_\_\_\_. 2013. QUV & Q-SUN A Comparison of Two Effective Approaches to Accelerated Weathering & Light Stability Testing. Technical Bulletin LU-8009.
- Quintana, F. 2011. Diseño de formulación de compuesto de madera-polipropileno para manufacturas de uso en exteriores. Tesis Maestro en ciencias de Productos Forestales.Jalisco, MX. Universidad de Guadalajara.127 p.
- Quiminet. 2006. Historia del polipropileno (en línea). Ciudad de México, México. Consultado 18 feb. 2015. Disponible en <https://www.quiminet.com/articulos/todo-acerca-del-polipropileno-4455.htm>.
- Stark, N.; Matuana, L.2004. Surface chemistry changes of weathered HDPE/wood-flour composites studied by XPS and FTIR spectroscopy. *Polymer degradation and stability*, 86(1): 1-9.

- \_\_\_\_\_. 1997. Effect of species and particle size on properties of Wood-floor-filled polipropylene composites. *In* Proceedings of functional fillers for thermoplastic and thermosets. California,US. December 8-10.
- \_\_\_\_\_. 2007. Considerations in the Weathering of Wood Plastic Composites. *In* Wood Fiber Polymer Composites International Symposium (3,2007, Bordeaux, France). 10 p.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).2003. Atlas de Energía Solar del Perú( en línea). Lima, Perú. Consultado el 10 de febrero del 2016. Disponible en: [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20\\_de\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20_de_Radiacion_Solar.pdf)
- Thanigai,K; Nandanwar, A; Nath, S; Sujatha, D. 2011. A study on the effect of weathering on bamboo mat corrugated sheet (BMCS).*Journal of the Indian Academy of Wood Science*. 8 (2): 201-203.
- Te-Hsin, Y; Tsu-Hsien, Y; Wei-Cheng, C; Shao-Yuan,L. 2015. Characterization of the property changes of extruded wood-plastic composites during year round subtropical weathering. *Construction and Building Materials* 88:159-168.
- Thwe,M. ; Liao,K. 2001 . Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo–glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 33 (1): 43–52
- X-Rite (X-rite Inc.). 2007. A guide to Understanding color communication (en línea). Michigan, US. Consultado 10 de jun. 2016. Disponible en [https://www.xrite.com/documents/literature/en/110-001\\_understand\\_color\\_en.pdf](https://www.xrite.com/documents/literature/en/110-001_understand_color_en.pdf).
- Xudong, Y; Xin, D. 2006. Prediction of outdoor weathering preformance of polypropylene filaments by accelerated weathering tests. *Geotextiles and Geomembranes*. 24(2):103-109.
- Yan, L; Chouw, N; Jayamaran, K. 2015. Effect of UV and water spraying on the mechanical properties of flax fabric reinforced polymer composites used for civil engineering applications. *Materials and Design* 71(7):17-25.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1

#### ANVA ΔE

#### Modelo lineal general: DeltaE vs. T, R, Bloque

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	Fijo	2	t1, t2
R	Fijo	2	r1, r2
Bloque	Fijo	2	1, 2

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
T	1	265.79	265.793	13.53	0.000
R	1	125.32	125.322	6.38	0.014
Bloque	1	726.54	726.543	36.99	0.000
T*R	1	8.47	8.474	0.43	0.513
Error	75	1473.28	19.644		
Total	79	2599.41			

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4.43212	43.32%	40.30%	35.51%

Coefficientes

Término	Coefcoef.	EE del Valor T	Valor p	VIF	
Constante	25.961	0.496	52.39	0.000	
T					
t1	1.823	0.496	3.68	0.000	1.00
R					
r1	1.252	0.496	2.53	0.014	1.00
Bloque					
1	3.014	0.496	6.08	0.000	1.00
T*R					
t1 r1	0.325	0.496	0.66	0.513	1.00

#### Comparaciones para DeltaE

#### Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = DeltaE, Término = T

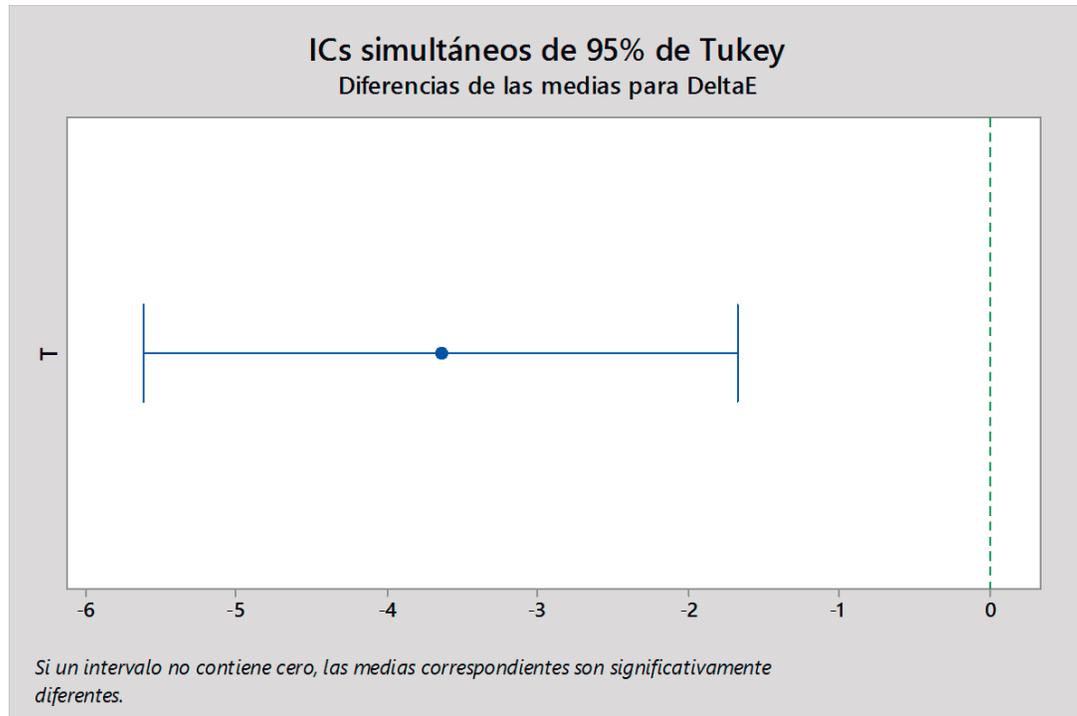
Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

T	N	Media	Agrupación
t1	40	27.7834	A
t2	40	24.1379	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Diferencia de T niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T	Valor p ajustado
t2 - t1	-3.645	0.991	(-5.620, -1.671)	-3.68	0.000

Nivel de confianza individual = 95.00%



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

1. Prueba de hipótesis:

- H0: Son similares los promedios de T1 y T2.
- H1: Son diferentes los promedios de T1 y T2.

2. Nivel de significancia:

Alfa=0.05

3. Estadística de Prueba

p-valor= 0.000

4. Decisión:

Como: p-valor < alfa → Se rechaza Ho

5. Conclusión:

A un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística suficiente para afirmar que son diferentes los promedios de T1 y T2.

## ANEXO 2

### ANVA DENSIDAD

#### Modelo lineal general: Densidad vs. T, R, Bloque

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	Fijo	2	t1, t2
R	Fijo	2	r1, r2
Bloque	Fijo	2	1, 2

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
T	1	0.000169	0.000169	0.13	0.720
R	1	0.008195	0.008195	6.38	0.018
Bloque	1	0.003677	0.003677	2.86	0.102
T*R	1	0.005781	0.005781	4.50	0.043
Error	27	0.034705	0.001285		
Total	31	0.052527			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0358519	33.93%	24.14%	7.19%

Coefficientes

Término	Coefcoef.	EE del Valor T	Valor p	VIF	
Constante	0.94533	0.00634	149.16	0.000	
T					
t1	0.00230	0.00634	0.36	0.720	1.00
R					
r1	0.01600	0.00634	2.52	0.018	1.00
Bloque					
1	-0.01072	0.00634	-1.69	0.102	1.00
T*R					
t1 r1	-0.01344	0.00634	-2.12	0.043	1.00

#### Comparaciones para Densidad

#### Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Densidad, Término = T\*R

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

T*R	N	Media	Agrupación
t2 r1	8	0.972479	A
t1 r1	8	0.950193	A B
t1 r2	8	0.945071	A B
t2 r2	8	0.913591	B

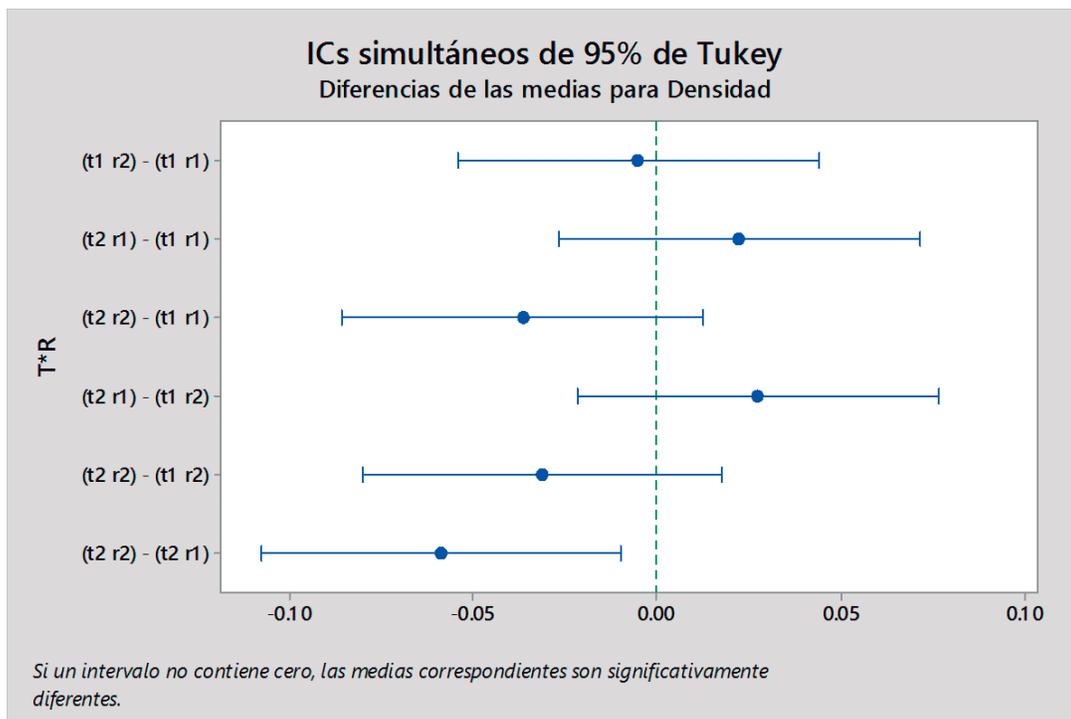
Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de T*R niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T	Valor p ajustado
(t1 r2) - (t1 r1)	-0.0051	0.0179	(-0.0542, 0.0439)	-0.29	0.992
(t2 r1) - (t1 r1)	0.0223	0.0179	(-0.0268, 0.0713)	1.24	0.606
(t2 r2) - (t1 r1)	-0.0366	0.0179	(-0.0857, 0.0125)	-2.04	0.198
(t2 r1) - (t1 r2)	0.0274	0.0179	(-0.0216, 0.0765)	1.53	0.435
(t2 r2) - (t1 r2)	-0.0315	0.0179	(-0.0805, 0.0176)	-1.76	0.316
(t2 r2) - (t2 r1)	-0.0589	0.0179	(-0.1079, -0.0098)	-3.29	0.014

Nivel de confianza individual = 98.92%

### ICs simultáneos de 95% de Tukey



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

1. Prueba de hipótesis:

H0: Son similares los promedios de: T2R2 y T2R1.

H1: Son diferentes los promedios de: T2R2 y T2R1.

2. Nivel de significancia:

Alfa=0.05

3. Estadística de Prueba

p-valor= 0.014

4. Decisión:

Como: p-valor < alfa → Se rechaza H0

5. Conclusión:

A un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística suficiente para afirmar que son diferentes entre T2R2 y T2R1.

## ANEXO 3

### ANVA CONTENIDO DE HUMEDAD

#### Modelo lineal general: CH vs. T, R, Bloque

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	Fijo	2	t1, t2
R	Fijo	2	r1, r2
Bloque	Fijo	2	1, 2

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
T	1	0.19340	0.193396	9.91	0.003
R	1	0.09910	0.099099	5.08	0.031
Bloque	1	0.81627	0.816268	41.84	0.000
T*R	1	0.16223	0.162229	8.31	0.007
Error	35	0.68286	0.019510		
Total	39	1.95386			

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.139680	65.05%	61.06%	54.35%

Coefficientes

Término	Coefcoef.	EE del Valor T	Valor p	VIF
Constante	0.9413	0.0221	42.62	0.000
T				
t1	0.0695	0.0221	3.15	0.003 1.00
R				
r1	0.0498	0.0221	2.25	0.031 1.00
Bloque				
1	0.1429	0.0221	6.47	0.000 1.00
T*R				
t1 r1	0.0637	0.0221	2.88	0.007 1.00

#### Comparaciones para CH

#### Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = CH, Término = T\*R

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

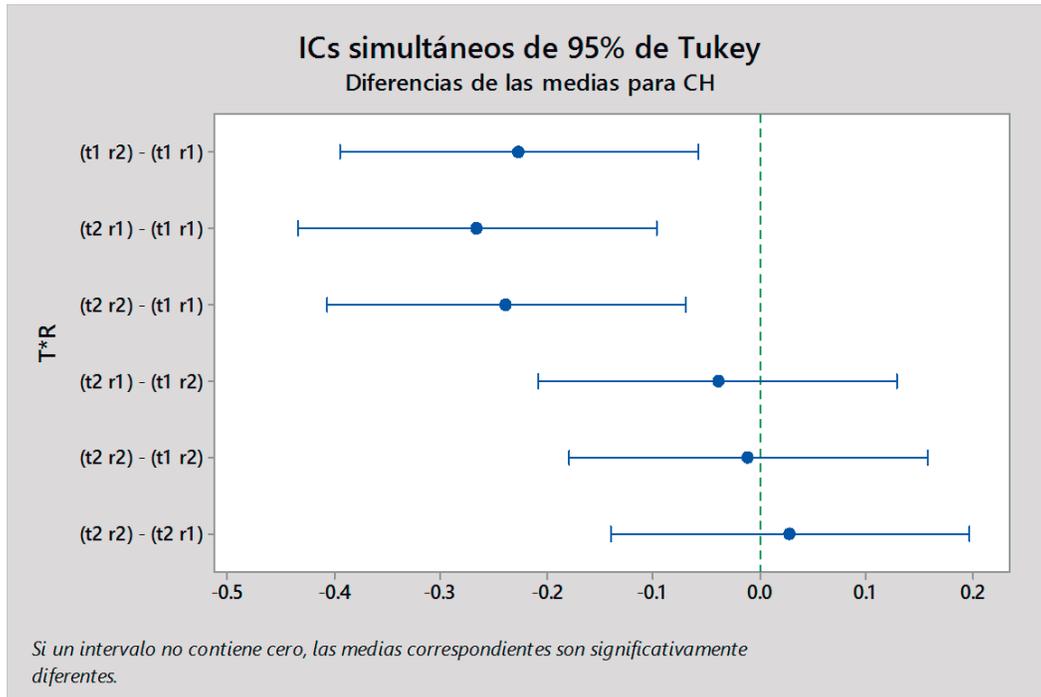
T*R	N	Media	Agrupación
t1 r1	10	1.12431	A
t1 r2	10	0.89739	B
t2 r2	10	0.88569	B
t2 r1	10	0.85787	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de T*R niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T	Valor p ajustado
(t1 r2) - (t1 r1)	-0.2269	0.0625	(-0.3952, -0.0586)	-3.63	0.005
(t2 r1) - (t1 r1)	-0.2664	0.0625	(-0.4347, -0.0981)	-4.27	0.001
(t2 r2) - (t1 r1)	-0.2386	0.0625	(-0.4069, -0.0703)	-3.82	0.003
(t2 r1) - (t1 r2)	-0.0395	0.0625	(-0.2078, 0.1288)	-0.63	0.921
(t2 r2) - (t1 r2)	-0.0117	0.0625	(-0.1800, 0.1566)	-0.19	0.998
(t2 r2) - (t2 r1)	0.0278	0.0625	(-0.1405, 0.1961)	0.45	0.970

Nivel de confianza individual = 98.92%



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

1. Prueba de hipótesis:

H0: Son similares los promedios de: T1,R1 y T1,R2; T1,R1 y T2,R1; T1,R1 y T2,R2.

H1: Son diferentes los promedios de: T1,R1 y T1,R2; T1,R1 y T2,R1; T1,R1 y T2,R2.

2. Nivel de significancia:

Alfa=0.05

3. Estadística de Prueba

p-valor= 0.005

p-valor= 0.001

p-valor= 0.003

4. Decisión:

Como: p-valor < alfa → Se rechaza Ho

5. Conclusión:

A un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística suficiente para afirmar que son diferentes : T1R1,T2R2; T1R1, T1R2 y T1R1,T2R1.

**ANEXO 4**  
**ANVA ABSORCIÓN**

**Modelo lineal general: Absorción vs. H, T, R, Bloque**

Información del factor  
INTERACCION NO SIGNIFICATIVA!  
Factor Tipo Niveles Valores  
T Fijo 2 t1, t2  
R Fijo 2 r1, r2  
Bloque Fijo 2 1, 2

**Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
T	1	0.01	0.014	0.00	0.974
R	1	2.09	2.092	0.15	0.697
Bloque	1	157.62	157.616	11.62	0.002
T*R	1	19.30	19.301	1.42	0.240
Error	39	528.89	13.561		
Total	47	1589.97			

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3.68257	66.74%	59.91%	49.61%

Coefficientes

Término	Coefcoef.	EE del		VIF
		Valor T	Valor p	
T				
t1	0.017	0.532	0.03	0.974
R				
r1	0.209	0.532	0.39	0.697
Bloque				
1	1.812	0.532	3.41	0.002
T*R				
t1 r1	0.634	0.532	1.19	0.240

## ANEXO 5

### ANVA HINCHAMIENTO

#### Modelo lineal general: Hinchamiento vs. H, T, R, Bloque

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	Fijo	2	t1, t2
R	Fijo	2	r1, r2
Bloque	Fijo	2	1, 2

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
T	1	0.8905	0.89052	2.80	0.108
R	1	0.3392	0.33918	1.07	0.312
Bloque	1	2.6939	2.69395	8.48	0.008
T*R	1	0.0152	0.01525	0.05	0.829
Error	23	7.3063	0.31767		
Total	31	18.7943			

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.563620	61.12%	47.60%	24.75%

Coefficientes

Término	Coefcoef.	EE del	Valor T	Valor p	VIF
Constante	1.4289	0.0996	14.34	0.000	
T					
t1	0.1668	0.0996	1.67	0.108	1.00
R					
r1	0.1030	0.0996	1.03	0.312	1.00
Bloque					
1	0.2901	0.0996	2.91	0.008	1.00
T*R					
t1 r1	0.0218	0.0996	0.22	0.829	1.00

#### Comparaciones por parejas de Tukey: Respuesta = Hinchamiento, Término = H

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

H	N	Media	Agrupación
R1	16	1.88164	A
R2	16	0.97624	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.  
Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de H niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T	Valor p ajustado
-------------------------	----------------------	------------------	----------------------	---------	------------------

r1 - r2            -0.905            0.199    (-1.318, -0.493)    -4.54    0.000  
Nivel de confianza individual = 95.00%

## ANEXO 6

### ANVA TENSION MOR

#### General Linear Model: Tension versus Bloque, T, R

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Bloque	Fixed	2	1, 2
<b>T</b>	<b>Fixed</b>	<b>2</b>	<b>t1, t2</b>
<b>R</b>	<b>Fixed</b>	<b>2</b>	<b>r1, r2</b>

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloque	1	6.897	6.8972	1.86	0.178
T	1	0.808	0.8078	0.22	0.643
<b>R</b>	<b>1</b>	<b>14.431</b>	<b>14.4305</b>	<b>3.89</b>	<b>0.053</b>
T*R	1	0.746	0.7461	0.20	0.656
Error	59	219.010	3.7120		
Lack-of-Fit	3	39.630	13.2101	4.12	0.010
Pure Error	56	179.380	3.2032		
Total	63	241.891			

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.92666	9.46%	3.32%	0.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	11.765	0.241	48.85	0.000	
Bloque					
1	-0.328	0.241	-1.36	0.178	1.00
T					
t1	0.112	0.241	0.47	0.643	1.00
R					
r1	0.475	0.241	1.97	0.053	1.00
T*R					
t1 r1	-0.108	0.241	-0.45	0.656	1.00

#### Comparisons for Tension

**Tukey Pairwise Comparisons: Response = Tension, Term = R**

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

R	N	Mean	Grouping
r1	32	12.2394	A
r2	32	11.2897	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of R Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
r2 - r1	-0.950	0.482	(-1.913, 0.014)	-1.97	0.053

Individual confidence level = 95.00%

1. Prueba de hipótesis:

H0: Son similares los promedios de r1 y r2.

H1: Son diferentes los promedios de r1 y r2.

2. Nivel de significancia:

Alfa=0.05

3. Estadística de Prueba

p-valor= 0.053

4. Decisión:

Como: p-valor > alfa → NO SE RECHAZA H<sub>0</sub>

5. Conclusión:

A un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística suficiente para NO afirmar que son diferentes los promedios de R1 y R2.

## ANEXO 7

### ANVA TENSION MOE

#### General Linear Model: Tension versus Bloque, T, R

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Bloque	Fixed	2	1, 2
<b>T</b>	<b>Fixed</b>	<b>2</b>	<b>t1, t2</b>
<b>R</b>	<b>Fixed</b>	<b>2</b>	<b>r1, r2</b>

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloque	1	0.03287	0.032867	0.52	0.476
T	1	0.01284	0.012838	0.20	0.655
R	1	0.00473	0.004731	0.07	0.786
<b>T*R</b>	<b>1</b>	<b>0.23082</b>	<b>0.230822</b>	<b>3.62</b>	<b>0.062</b>
Error	59	3.76380	0.063793		
Lack-of-Fit	3	0.52779	0.175928	3.04	0.036
Pure Error	56	3.23602	0.057786		
Total	63	4.04506			

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

Model Summary 0,062 MAYOR QUE 0,05: LA COMBINACIÓN ENTRE LOS EFECTOS ES SIMILAR.

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.252573	6.95%	0.64%	0.00%

#### Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.9639	0.0316	30.53	0.000	
Bloque					
1	-0.0227	0.0316	-0.72	0.476	1.00
T					
t1	-0.0142	0.0316	-0.45	0.655	1.00
R					
r1	0.0086	0.0316	0.27	0.786	1.00
T*R					
t1 r1	-0.0601	0.0316	-1.90	0.062	1.00

## ANEXO 8

### ANVA FLEXIÓN MOR

#### General Linear Model: Flexion versus Bloque, T, R

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Bloque	Fixed	2	1, 2
<b>T</b>	<b>Fixed</b>	<b>2</b>	<b>t1, t2</b>
<b>R</b>	<b>Fixed</b>	<b>2</b>	<b>r1, r2</b>

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloque	1	13.41	13.41	1.26	0.268
<b>T</b>	<b>1</b>	<b>104.77</b>	<b>104.77</b>	<b>9.82</b>	<b>0.003</b>
R	1	19.46	19.46	1.82	0.183
T*R	1	10.03	10.03	0.94	0.337
Error	51	544.29	10.67		
Lack-of-Fit	3	53.53	17.84	1.75	0.170
Pure Error	48	490.76	10.22		
Total	55	691.96			

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPI*

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.26686	21.34%	15.17%	5.16%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	21.453	0.437	49.14	0.000	
Bloque					
1	-0.489	0.437	-1.12	0.268	1.00
T					
t1	1.368	0.437	3.13	0.003	1.00
R					
r1	-0.589	0.437	-1.35	0.183	1.00
T*R					
t1 r1	0.423	0.437	0.97	0.337	1.00

#### Tukey Pairwise Comparisons: Response = Flexion, Term = T

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

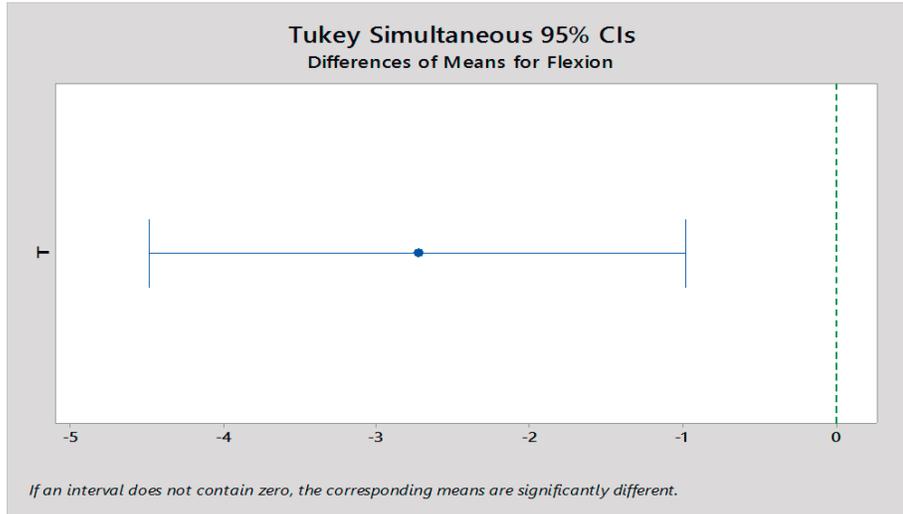
T	N	Mean	Grouping
t1	28	22.8208	A
t2	28	20.0852	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of T Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
t2 - t1	-2.736	0.873	(-4.488, -0.983)	-3.13	<b>0.003</b>

Individual confidence level = 95.00%



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

1. Prueba de hipótesis:

H0: Son similares los promedios de t1 y t2.

H1: Son diferentes los promedios de t1 y t2.

2. Nivel de significancia:

Alfa=0.05

3. Estadística de Prueba

p-valor= 0.003

4. Decisión:

Como: p-valor < alfa → Se rechaza Ho

5. Conclusión:

A un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística suficiente para afirmar que son diferentes entre t1 y t2.

## ANEXO 9

### ANVA FLEXIÓN MOE

#### General Linear Model: Flexion versus Bloque, T, R

Method  
Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Bloque	Fixed	2	1, 2
<b>T</b>	<b>Fixed</b>	<b>2</b>	<b>t1, t2</b>
<b>R</b>	<b>Fixed</b>	<b>2</b>	<b>r1, r2</b>

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloque	1	5.5420	5.5420	14.30	0.000
<b>T</b>	<b>1</b>	<b>3.9103</b>	<b>3.9103</b>	<b>10.09</b>	<b>0.003</b>
R	1	0.5396	0.5396	1.39	0.243
T*R	1	0.1372	0.1372	0.35	0.554
Error	51	19.7589	0.3874		
Lack-of-Fit	3	1.8982	0.6327	1.70	0.179
Pure Error	48	17.8607	0.3721		
Total	55	29.8879			

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.622438	33.89%	28.70%	20.29%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1.1457	0.0832	13.77	0.000	
Bloque					
1	0.3146	0.0832	3.78	0.000	1.00
T					
t1	-0.2642	0.0832	-3.18	0.003	1.00
R					
r1	-0.0982	0.0832	-1.18	0.243	1.00
T*R					
t1 r1	0.0495	0.0832	0.59	0.554	1.00

#### Comparisons for Flexion

##### Tukey Pairwise Comparisons: Response = Flexion, Term = T

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

T	N	Mean	Grouping
t2	28	1.40997	A

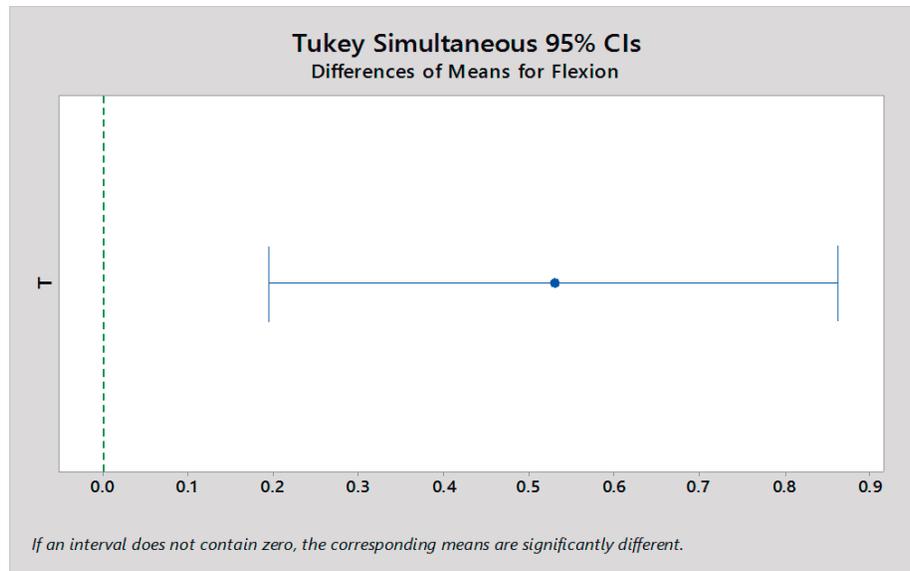
t1 28 0.88148 B

Means that do not share a letter are significantly different.

#### Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of T Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
t2 - t1	0.528	0.166	(0.195, 0.862)	3.18	<b>0.003</b>

Individual confidence level = 95.00%



*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

2 En la gráfica se observa q la distancia entre los promedios de la t1 y t2 no contienen a 0 , por tanto resulta no significativa.

#### 1. Prueba de hipótesis:

H0: Son similares los promedios de t1 y t2.

H1: Son diferentes los promedios de t1 y t2.

#### 2. Nivel de significancia:

Alfa=0.05

#### 3. Estadística de Prueba

p-valor= 0.003

#### 4. Decisión:

Como: p-valor < alfa → Se rechaza H0

#### 5. Conclusión:

A un nivel de significancia del 5% existe evidencia estadística suficiente para afirmar que son diferentes entre t1 y t2.

## ANEXO 10

### ANVA IMPACTO

#### Modelo lineal general: Impacto vs. T, R, Bloque

Información del factor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
T	Fijo	2	t1, t2
R	Fijo	2	r1, r2
Bloque	Fijo	2	1, 2

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
T	1	0.001232	0.001232	0.12	0.735
R	1	0.007699	0.007699	0.72	0.399
Bloque	1	0.004927	0.004927	0.46	0.500
T*R	1	0.015089	0.015089	1.42	0.240
Error	51	0.543832	0.010663		
Total	55	0.572778			

*FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA*

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.103264	5.05%	0.00%	0.00%

Coefficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante	0.5159	0.0138	37.39	0.000	
T					
t1	0.0047	0.0138	0.34	0.735	1.00
R					
r1	-0.0117	0.0138	-0.85	0.399	1.00
Bloque					
1	-0.0094	0.0138	-0.68	0.500	1.00
T*R					
t1 r1	-0.0164	0.0138	-1.19	0.240	1.00

Conclusion: A un nivel de significancia del 5% todos los niveles del factor resultaron significativas para el impacto.

ANEXO 11

DATA PARA COLORIMETRÍA

		DATOS DE COLOR PARA 7TIRI																													
		L										a										b									
		0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500						
PATRÓN	43.4						10.7						21.4																		
7TIR101	45.2	60.3	68.6	67.6	65.5	68	9.9	5.7	4.3	4.5	5.4	5.4	5.4	22.2	16	12.3	14.1	15.7	13.2												
7TIR102	42.4	57.9	68.2	68.3	67.7	65.7	9.6	5.8	3.9	4.2	4.5	5.5	5.5	18.1	14.7	12.3	13.4	14.6	14.4												
7TIR103	42.8	57.7	66	64.5	65.5	63.1	10	5.9	4.5	5.4	5.4	6.5	6.5	18.5	14.8	12.9	15.3	16	16.2												
7TIR104	46.1	55.9	58.6	64.4	66.7	66.9	10.4	6.9	6.8	5.5	5.2	6.1	6.1	21.9	17.4	16.7	16.3	14.8	15.5												
7TIR105	45	59.5	64	64.8	69.6	71.4	10.4	6.2	5.3	5.3	4.5	4.1	4.1	22.2	16.4	14	15.3	12.3	12.3												
7TIR106	43.9	60.6	64.7		71.3	69.3	10.6	5.9	5.5		4.1	4.7	4.7	22	16	14.9		12.3	14.3												
7TIR107	41.8	58.2	63		67.9	67.3	10.7	5.7	5.1		4.7	4.9	4.9	20.8	14	13.6		13.4	13.9												
7TIR108	40.8	57.3	62.4		63.6	65	10.9	6.2	5.3		6	5.7	5.7	20.6	16.2	14.6		16.5	16.1												
7TIR109	44.1	60.1	64.5	69.2	68.5	70.6	10.3	5.8	5.2	4.6	4.9	2.2	2.2	21.3	15.5	14	13.6	15.7	20.3												
7TIR110	43.3	57.2	64	62.3	63	60.8	11.3	6.2	4.9	5.9	6	7	7	22.4	16	14.4	16.7	17.6	18.3												
7TIR111	38.8	52.6	60.5	62.8	70.3	70.7	9.5	5.8	4.9	5.1	3.4	3.5	3.5	17.6	13.8	13.4	14.5	11.2	11.4												
7TIR112	43	53.9	59.9	59.6	66.3	65.8	10.7	7	6.1	6.6	5.4	5.7	5.7	20.8	16.7	15.1	16.1	13.6	14.6												
7TIR113	36.1	50.1	58.1	66	70.8	73.3	10.5	6	4.7	3.8	2.9	2.8	2.8	18.5	13.2	11.5	11.7	8.5	9.6												
7TIR114	42.3	54.7	62.4	68.1	67.2	70	10.5	6.3	5.2	4.3	5.2	4.4	4.4	20.7	14.9	14.2	14.2	16.7	13.7												

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

		VARIACIÓN DE COLOR 5T1R1																					
MUESTRA	L	a										b											
		0	100	200	300	400	500	0	10.3	10.6	4.8	4.6	3.4	3	3.8	20	18.9	13.4	13.5	11.1	10.7	11.3	
PATRÓN	36.7																						
5T1R101	41.3	62.3	66	72.5	73.7	72.7	73.7	73.7	73.7	71.6	71	11	5.9	5.2	2.8	2.7	3.5	18.9	11.9	12.5	8	7.8	9.6
5T1R102	43	62.8	66.4	72.2	73.7	73.7	73.7	73.7	73.7	66.8	68.1	11.3	5.6	4.1	4.5	3.9	4.1	22.2	14.1	11.9	15.5	13.7	13.9
5R1T103	35.3	51.3	57.6	70.9	71.6	71	71.6	71.6	71.6	65.8	69.6	10.5	5.9	4.7	5.4	4.5	4	20.4	14.7	12.6	15.4	13.1	12.9
5T1R104	37.7	52.8	62.4	65.7	66.8	68.1	66.8	66.8	66.8	60.5	64.1	10	6	4.8	4.5	5.8	4.9	19.4	14.1	12.6	14.2	16.6	14.9
5T1R105	42.4	53.2	62.1	64.2	65.8	69.6	65.8	65.8	65.8	64.8	68.6	9	6.3	4.6	4.7	4	3.9	18.8	14.3	11.1	14.4	11.1	12.3
5T1R106	41.6	52	60.5	64.1	60	65.4	60	60	60	64.4	64.4	10.4	6.4	4.3	4.3	4.1	4.1	20.4	13.8	9.7	13.5	11.5	12.5
5T1R107	46.2	51.8	61.8	64.8	66.4	68.6	66.4	66.4	66.4	64.8	68.6	9	6.3	4.6	4.7	4	3.9	18.8	14.3	11.1	14.4	11.1	12.3
5T1R108	43.8	48.8	59.8	64.5	64.4	67.5	64.4	64.4	64.4	64.4	67.5	10.4	6.4	4.3	4.3	4.1	4.1	20.4	13.8	9.7	13.5	11.5	12.5
5T1R109	33.7	46.6	59.1	62.8	63.8	66.8	63.8	63.8	63.8	63.8	66.8	11.2	6.6	4.3	4.5	4	3.9	19.5	13.5	9.5	12.6	11.5	11.5
5T1R110	35.6	49.1	55.3	63.7	69.1	69.4	69.1	69.1	69.1	69.4	69.4	11.2	6.6	6.3	4.6	3.4	3.9	21.2	14.9	15.2	13	11.3	11.4
5T1R111	47.6	62	63.5	65.8	57.6	63.9	64.6	64.6	64.6	63.9	63.9	9.8	5.7	5.7	4.8	7.4	5.6	19.9	14.4	15.2	12.8	17.2	14
5T1R112	44.2	59.1	62.8	63.7	64.6	65.3	64.6	64.6	64.6	65.3	65.3	10.6	6	5.5	5.5	5.6	5.8	21.3	15.2	14.9	15.4	15.9	15.8
5T1R113	45.6	58.4	64	63.5	59.8	65.8	63.5	63.5	63.5	65.8	65.8	10	6.2	5.1	5.7	6.8	5.5	20.1	15.4	13.6	15.5	17.4	14.9
5T1R114	43.2	62.3	62.7	65.2	66	66.5	66	66	66	66.5	66.5	11	6.3	6.6	5.8	5.8	6.1	21.5	16.7	17.4	15.8	16.9	15.6

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



		DATA COLOR 7TIR2																			
		a										b									
		L	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	
PATRÓN	43.4						10.7							21.4							
7TIR201	42.4	55.1	60.5	61.4	61	59.5	10.3	6.7	6.1	6	6.2	6.6	6.6	19	16	14.7	15.5	15.4	17.7		
7TIR202	45	51.7	59.2	62.6	63.2	66.9	10.5	8	6.6	6.1	6.1	5.5	21.2	18.1	15.7	16	16.4	15.1			
7TIR203	40.6	51.4	58.7	60.8	62.6	62.5	11	6.8	6	5.9	5.6	6.2	21.3	15	15.6	16.3	16.1	16.4			
7TIR204	40.3	52.8	60.5	64.7	63.6	66.1	11	6.4	5.4	4.7	5.5	5.3	20.6	13.7	14.6	14.6	16	14.6			
7TIR205	33.5	45.8	62.2	62.6	63.4	64.9	11.4	7.4	4.1	4.9	5	4.7	19.4	14.5	10.7	14.3	14.8	13.5			
7TIR206	38.6	52.1	59.6	60.6	61.7	61.5	9.9	6.1	5.2	5.2	5.8	5.7	17.7	14.4	14.5	15.3	16.4	16			
7TIR207	42.3	53.8	58.5	64.7	65.7	56.7	10	7	6.6	5.3	5.4	8	20.7	16.9	16.6	14.4	14.6	17.3			
7TIR208	41	50.9	56.5	65.9	63.8	66.1	10.6	7.2	6.6	4.4	5.1	5.6	20.4	16.2	16.4	12.7	14.2	14.9			
7TIR209	38	48.1	57.7	68.2	71.2	70.4	10.7	7.1	5.4	3.6	3.6	4	19.7	15.5	14.2	11.6	9.6	13.4			
7TIR210	38.1	49.5	60.4	64.8	69.1	66.9	11.4	7.1	5.6	4.7	4.1	5.1	20.6	15.7	14.3	13.4	10.1	13			
7TIR211	39	47.5	57.2	63	65.4	70.3	10.8	7.4	5.7	4.9	4.7	4.1	20.2	16.4	15.3	14.6	15.3	13.2			
7TIR212	43.9	50.4	57	63.9	71.3	74.2	10.3	8	6.9	5.6	3.6	3.6	20.5	17	16.1	15.2	13.1	11.2			
7TIR213	40.4	52.1	56.3	66.6	62.1	69.3	11	7	6.8	4.4	6	4.5	20.2	16.3	17.4	14	17.2	12.6			
7TIR214	38.7	48.9	57.8	68	69	60.3	10.8	7.3	6	4	4.5	6.9	20.8	16.7	16	12.7	13.8	18.4			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

		DATA COLOR 5TIR2																	
		a									b								
MUESTRA	L	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	
PATRÓN	36.7						10.3						18.9						
5TIR201	46.2	52.9	59.7	63.1	62.3	63.5	9.8	7.7	6.1	5.6	6	5.9	20.9	18.2	16.5	15.1	16.1	15.9	
5TIR202	45.5	55.3	61.7	63.1	62.4	61.9	9.8	7.2	5.8	5.8	6.1	6.4	20	17.3	16.4	15.6	16.1	16.4	
5TIR203	44.1	55.6	58.2	64.7	65.7	67.7	10.2	7	6.8	5.8	5.7	5.7	20.8	17.4	17.1	15.9	15.8	15.3	
5TIR204	48.5	54.5	57.2	63.9	65.2	72.1	8.9	7	6.9	5.9	5.5	4.5	18.8	17.1	17.1	15.7	15.4	13.9	
5TIR205	46.8	62.8	63.1	70	69.3	67.8	9.1	4.9	5.7	4.3	4.5	5.1	18.4	13.3	14.3	12.6	14.9	14.1	
5TIR206	47.4	63.2	61.1	69.6	65	67.1	9.2	5.1	6.4	4.4	5.8	5.3	19.7	13.7	16.5	12.9	16	14.6	
5TIR207	45.8	63.1	63	72.1	68.1	71.6	9.7	5	5.9	3.6	5	4.5	20.4	13.6	16.4	12.5	14.9	13	
5TIR208	43.2	53.9	61.2	59.4		63.2	11.1	7.6	6.2	6.7		6.3	21	17.7	15.7	17	0	16.2	
5TIR209	45.5	54	61.2	60.8	66	63	9.3	6.7	5.6	5.6	4.6	5.7	18.4	16.5	14.9	15.4	14.1	15.1	
5TIR210	42.6	56.9	62.4	62.5	62.7	64.1	10.4	6.9	5.8	5.9	5.8	5.7	21.5	17	15.4	15.7	15.8	14.6	
5TIR211	46.8	54.4	65.8	68.6	67.3	66.4	9.3	7	5.2	4.6	5.1	5.5	19.8	17.1	14.1	12.9	13.9	14.3	
5TIR212	42.3	56.2	64	64.8	66.1	67.4	10.7	6.5	5.2	5.4	5.4	5.2	21.1	16.5	14.8	15.9	15.8	14.5	
5TIR213	47.3	56.3	60.6	63.7	64.8	64.7	9	6.3	5.8	5.5	5.5	5.7	18.4	16.4	15.5	16	15.4	15.7	
5TIR214	46.4	55.7	61.2	65.3	64.2	63.1	9.7	7.1	6.1	5.4	6.1	6.4	20.4	17.4	16.4	16	16	17.4	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



		DATA COLOR 7T2R2																	
L		a									b								
		0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500
PATRÓN	43.4							10.7						21.4					
7T2R201	34	53.4	59	60.1	63.4	63.7	63.7	10.4	5.3	5.2	5.9	5.3	5.5	16.8	12.8	14.9	18.1	17	15.2
7T2R202	46	64.9	63.7	61.8	62	63.8	63.8	9.7	5.4	6.5	6	6.3	5.9	19.8	14.6	15	15.8	13.9	12.7
7T2R203	43.7	57.7	67	68.5	71.8	70.4	70.4	9.9	6.5	4.9	4.6	4.4	4.8	19.3	16.2	13.7	11.8	11.4	15.1
7T2R204	41.7	58.8	55.3	58	60.6	59.9	59.9	10.6	6.7	8.2	6.8	6.6	7	20	16.3	17.8	16.8	15.5	15.8
7T2R205	40.5	57.9	66.1	68.7	74.4	76.8	76.8	11	5.8	4.8	4.6	3.5	2.9	20.1	15	15	15.5	13.1	12.6
7T2R206	42.4	57.4	56.5	64.4	70.1	58.8	58.8	10.9	6.4	7.5	5.5	4.7	7.4	20.4	16.8	18.6	16.8	13.2	16.6
7T2R207	42.9	55.9	60	60.5	62.5	65.9	65.9	11	7.6	6.6	6.6	6.6	6.6	21.1	17.9	15.4	15.7	16.3	15
7T2R208	39.5	57.5	66.2	69.4	73.9	60.7	60.7	10.8	5.9	4.7	4.3	3.5	6.5	19.8	15.7	14.3	12.3	11.4	18.8
7T2R209	38.2	59.9	59.2	60.9	61.2	59	59	10.3	5.1	6.3	5.6	5.7	6.1	18.5	14.3	17	16.4	16.9	16
7T2R210	43.8	55.6	59.6	53.2	60.5	55.5	55.5	10.2	7.3	6.9	8.4	6.6	8	20.5	18.3	17.2	17.6	15.4	17.3
7T2R211	43.2	56.6	72.5	73.4	66.7	72.7	72.7	10.4	6.7	3.3	3.8	5.8	3.6	20.3	17.3	9.8	10.4	17.5	12.8
7T2R212	49.4	62.4	67	69.1	68.7	66.4	66.4	10.4	6.4	6.1	6.2	6.5	7.4	22.2	16.4	15.3	14.5	14.4	16.8
7T2R213	41.9	58.6	64.9	60.9	58.8	63.8	63.8	11.1	5.9	5.5	7.2	8.1	6.2	21.3	15.4	15.5	19.4	20.8	16.3
7T2R214	50.9	60.7	67.7	69.6	67.1	65.9	65.9	10	7.2	5.6	6.2	7	7.6	23	17.9	14.1	14.8	16.3	16.4

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

DATA COLOR 5T2R2																		
L	a							b										
	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500
PATRÓN	36.7						10.3						18.9					
5T2R201	46.6	65.6	61.3	61.6	61.6	51.8	9.5	4.8	6.7	6.2	6.3	8.9	19.6	14.3	16.4	15	14.5	15.8
5T2R202	44.7	67.5	71.1	68.3	70.1	63.3	9.6	4	4.8	4.7	4.5	6.5	19.1	13.4	12.8	12.6	12	13.2
5T2R203	46.5	68.5	69.5	66.6	65.9	58	8.9	4	5.2	5.3	5.7	7.8	18	13	14.2	14.3	14.2	17.8
5T2R204	46.5	51.7	62	63.4	62.1	59.5	9.2	7.6	5.9	5.4	6	7	18.5	17.7	15.8	16	16.4	17.4
5T2R205	43.4	54	65.9	65.3	61.6	68.1	9.2	6.5	5	4.9	6.1	4.7	18.2	17	13.2	14.8	15.8	14.6
5T2R206	44.7	54.5	61.7	58.8	61	64	9.4	6.6	5.6	6.2	6	5.6	19.2	16.8	15	15.8	15.5	14.7
5T2R207	46.6	56	63.1	61.1	59.4	58.7	9.9	7	6.1	6.2	6.5	6.9	19.8	17.9	15.2	16	16.6	16.5
5T2R208	48.3	60.1	66.7	67.1	67.8	65.4	9	6.5	5.9	5.7	5.8	6.3	19.5	17.2	15	13.9	13.9	16.3
5T2R209	44.3	54.2	59.3	60.2	55.2	61.1	9	6.7	6.3	6	7.2	6.3	16.6	16.5	15.6	16	17	16.4
5T2R210	45.8	58.4	64.6	66.5	66.3	62.1	10.9	6.6	6.3	6	6.3	7	21.3	17	16.5	15.3	15.7	17.1
5T2R211	43.1	58.4	61.3	61.4	55.6	60.5	10.7	5.8	5.8	5.8	7.3	6.4	20.8	16	16.3	15.5	16	16.6
5T2R212	44.9	62.8	63.3	61.8	60.6	58.7	10.8	5.7	6.5	6.6	7.1	7.6	21.2	15.1	15.9	16.5	16.6	16.7
5T2R213	43.3	58.7	63.1	60.9	57.6	65	10.8	6.1	7	6.4	7	5.8	19.8	16.1	17.6	16.2	16.6	15.5
5T2R214	46.4	56.1	57.7	58.3	57.3	56.1	10.1	7.1	7.5	6.9	7.2	7.7	20.8	18.1	17.5	16.7	17.1	17.6

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

		DATA COLOR PPT2R2																							
MUESTRA	L	a									b														
		0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500						
PATRÓN	67.7							1.4												1.5					
PPT2R201	68.4	69.1	73.9	75.2	76.4	77.9	77.9	2.9	0.6	0.4	-0.4	-0.8	-0.8	-0.8	0	1.4	2.7	4.2	4.2	11.9					
PPT2R202	70.2	68.7	71.3	73.6	74.3	75.8	75.8	3	0.9	0.1	-0.2	-0.4	-0.7	-0.7	0.7	1.4	3.8	5.7	5.7	12.2					
PPT2R203	68.9	68.9	73.4	75.7	76	81.3	81.3	3	0.9	-0.1	-0.5	-0.8	-1.1	-1.1	0.9	1.3	2.4	4.8	4.8	9.2					
PPT2R204	69.9	67.2	71.2	72	77.2	74.9	74.9	3.3	1	0.1	0.1	-0.2	-0.1	-0.1	1.3	2.3	3.6	7.7	7.7	14.9					
PPT2R205	70	67.5	71.9	71.9	78.2	76.7	76.7	3.3	1.3	0.1	0	-0.5	-0.3	-0.3	1.3	2	2.8	8.1	8.1	11.5					
PPT2R206	70.3	68.5	71.8	74.8	72.1	75.2	75.2	3	1.2	0.1	-0.5	-0.3	-0.4	-0.4	1.1	1.3	2.5	6.2	6.2	15.4					
PPT2R207	70.9	68.2	71.4	75.4	77.3	77.9	77.9	3.2	1	0.2	-0.6	-0.6	-0.9	-0.9	0.4	1.6	4.5	3.3	3.3	9.6					
PPT2R208	70.1	67.1	69.1	72.7	75.4	74.3	74.3	3	1.2	0.3	-0.4	-0.7	-0.7	-0.7	1	1.8	3.2	4.8	4.8	11.4					

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

		DATA COLOR 7T2R1																	
L		a									b								
	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	
PATRÓN	43.4						10.7						21.4						
7T2R101	38.3	46.6	63.5	60.6	64.1	67.5	10.8	7.9	4.2	6	5.2	4.4	21.2	16.2	12.4	17	15.5	13.9	
7T2R102	41.5	51.3	66	65.9	67.5	69	10.3	7	5.2	4.4	4.25	4.1	18.8	15.1	14.1	12.3	11.9	11.5	
7T2R103	45.5	56.8	62.6	63.3	67	70.7	10	6.5	5	5.9	5.35	4.8	20.7	15.5	13.8	14.8	14.4	13.9	
7T2R104	43.2	54.5	67.1	64.5	64.1	63.7	10.4	6.5	3.7	5.1	5.3	5.5	20.5	15.2	11.2	15	14.9	14.7	
7T2R105	40.6	49.8	61.5	64.9	67.5	70	10.6	7.8	5.3	5	4.75	4.5	19.7	16.8	14.7	15.3	13.9	12.4	
7T2R106	46.1	57.2	61.1	60.8	60	59.1	9.1	5.9	5.6	5.9	6.25	6.6	19	14.3	14.7	15.1	15.3	15.5	
7T2R107	42.4	56.2	63.2	64.6	65.3	65.9	10.1	6.5	5.5	5.4	5.35	5.3	20.3	15.6	15.8	15.6	15.6	15.5	
7T2R108	40.8	50.5	59.6	63.7	61.3	58.9	10.3	7.1	5.8	5.3	6.35	7.4	18.3	15.3	16.2	15.1	17.2	19.2	
7T2R109	42.8	59	61.3	64	62.1	60.2	11	6.3	6.2	5.7	5.95	6.2	21.8	15.3	15.2	15	15.3	15.6	
7T2R110	43.7	57.3	65.5	69.1	66.9	64.7	9.9	6.1	4.9	4.5	5.05	5.6	18.9	14.3	14.2	13.8	14.5	15.1	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

		DATA COLOR 5T2R1																	
L		a									b								
		100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	
PATRÓN	36.7						10.3					18.9							
5T2R101	41.5	58.4	60.3	66.1	65	63.9	11	6	5.8	4.9	5.35	5.8	20.3	15.7	16.1	13.8	15.1	16.3	
5T2R102	45.2	51.9	55.15	61.7	61.4	61.1	9.9	7.6	6.84	5.4	5.8	6.2	19.4	17.7	17.9	15	15.8	16.5	
5T2R103	48.5	54.4	54.76	58.4	59.8	61.1	9.7	7.1	7.26	6.7	6.5	6.3	20	17.4	19.0	17.3	17	16.7	
5T2R104	46.5	59.9	59.27	62.2	64.8	67.3	9.8	5.5	5.68	5.3	4.9	4.5	19.4	14.8	16.6	15.6	15	14.3	
5T2R105	43.5	57.3	60.10	66.5	66.7	66.8	10.4	5.9	5.42	4.4	4.75	5.1	20.3	16.3	16.4	13.8	13.9	14	
5T2R106	45.6	59.9	60.10	63.9	63.5	63	9.7	5.5	5.68	5.3	5.6	5.9	20.4	14.5	16.0	14.7	14.9	15.1	
5T2R107	43	54.5	54.85	58.5	60	61.5	9.6	6.3	6.58	6.2	6.05	5.9	18.8	16.4	18.3	17.1	16.4	15.6	
5T2R108	48.3	59.6	58.20	60.3	60.1	59.8	9.4	5.7	6.11	5.9	6.05	6.2	19.3	14.8	16.8	16	16.1	16.1	
5T2R109	47.1	54.7	59.51	67.9	66.3	64.6	9.4	6.8	6.00	4.6	5.15	5.7	19.6	16.6	16.1	12.9	13.7	14.5	
5T2R110	45.5	57.1	58.69	63.8	62.3	60.8	10	5.9	5.95	5.4	5.7	6	20.2	14.7	16.0	14.5	15	15.5	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

		DATA COLOR PPT2R1																	
L		a					b												
		0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500
PATRÓN	67.7						1.4							1.5					
PPT2R101	69	68.1	69.5	74.7	76.2	77.6	2.8	1.4	0.1	-0.4	-0.7	-1	-1.2	1.5	3.8	4.2	6.05	7.9	
PPT2R102	66.9	66.4	69.2	73	74.9	76.8	3	1.2	0.1	-0.2	-0.6	-1	3.1	2.9	5.1	6.4	8.55	10.7	
PPT2R103	66.5	66.1	69.1	71.9	74.8	77.6	3.1	1.6	0.4	0.1	-0.3	-0.7	2.3	2.3	3.3	5.5	6.15	6.8	
PPT2R104	67.8	67.2	70.3	72.1	74.1	76	3	1.6	0.5	0.2	-0.1	-0.4	2.2	2	1.9	3.5	4.95	6.4	
PPT2R105	67.6	67.3	72.6	73.1	76.8	80.4	1.9	1.2	0.1	-0.1	-0.5	-0.9	-0.4	0.7	1.1	5	5.9	6.8	
PPT2R106	68.2	67.7	69.5	68.6	73.2	77.7	3	1.3	0.2	0.2	-0.45	-1.1	0.7	1.8	3.8	9.3	9.4	9.5	
PPT2R107	68.1	67.7	70.4	71.3	72.8	74.3	2.9	1.5	0.3	0.2	-0.25	-0.7	2.1	1.9	2.6	4.9	8.25	11.6	
PPT2R108	68.8	66.1	69.9	73.5	76.2	78.9	2.9	1.4	0.3	-0.1	-0.55	-1	1.1	1.7	2.5	4.7	6.5	8.3	
PPT2R109	66	67.8	72	74.1	77.7	81.2	2.7	1.4	0.1	0	-0.4	-0.8	2.8	1.7	3.1	4.6	5.65	6.7	
PPT2R110	68.1	67.5	70.5	74.3	77.6	80.9	2.8	1.4	0.2	-0.2	-0.65	-1.1	0.8	0.7	1.5	2.8	4.55	6.3	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ANEXO 12

DATOS PARA CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD

MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)	Pf (seco al horno 100°C)	C.H. (%)	Longitud(mm)	Dimensiones seco al horno 100°C						Promedio (mm)	Volumen (cm3)	Densidad (g/cm3)		
					ANCHO(mm)			Espesor(mm)							
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho				izquierdo	
5TIR108	4.54	4.42	2.75	75.25	24.68	24.66	24.7	2.43	2.43	2.43	2.42	2.44	2.4	4.51	0.98
5TIR109	4.59	4.46	2.96	75.46	24.64	24.6	24.6	2.59	2.59	2.57	2.52	2.614	2.6	4.78	0.93
5TIR110	4.38	4.25	3.01	75.3	24.71	24.7	24.7	2.56	2.56	2.58	2.57	2.58	2.6	4.79	0.89
5TIR111	4.28	4.16	2.86	75.23	24.6	24.6	24.6	2.41	2.41	2.4	2.39	2.4	2.4	4.44	0.94
5TIR112	4.35	4.23	2.66	75.28	24.59	24.61	24.6	2.46	2.46	2.47	2.46	2.47	2.5	4.56	0.93
5TIR113	4.32	4.21	2.53	75.21	24.58	24.64	24.6	2.41	2.41	2.42	2.42	2.38	2.4	4.46	0.95
5TIR114	4.83	4.7	2.81	75.17	24.68	24.68	24.7	2.47	2.47	2.44	2.43	2.5	2.5	4.56	1.03
		Prom.	2.79714286											Prom.	0.95
		Desv. St.	0.15507733											Desv.st.	0.04105745

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD 7TIRI																	
MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	Dimensiones seco al horno 100°C						Promedio	Espesor(mm)			Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
					ANCHO(mm)			izquierdo				derecho					promedio (mm)
					derecho	izquierdo	Promedio	derecho	izquierdo	medio2		derecho	izquierdo	medio1			
7TIR108	4.8	4.7	2.8	75.6	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	2.6	2.6	2.6	2.6	4.8	1	
7TIR109	4.7	4.6	2.9	75.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	2.4	2.4	2.4	2.5	4.6	1	
7TIR110	4.2	4	3	75.4	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	2.4	2.4	2.4	2.4	4.4	0.9	
7TIR111	4.5	4.4	2.5	75.4	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	2.4	2.4	2.4	2.4	4.5	1	
7TIR112	4.4	4.3	2.6	75.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	2.5	2.5	2.5	2.5	4.5	0.9	
7TIR113	4.3	4.2	2.7	75.3	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6	24.6	2.4	2.4	2.4	2.4	4.5	0.9	
7TIR114	4.5	4.3	3.1	75.5	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	2.5	2.5	2.5	2.5	4.6	0.9	
		prom	2.8											Prom		1	
		Desv. St.	0.2											Desv. St.	0.04948717		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD PPTIRI														
MUESTRA	P1 (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	Dimensiones seco al horno 100°C						Promedio (mm)	promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
					ANCHO(mm)			Espesor(mm)						
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho				
ppTIR105	4.3	4.2		75.1	24.2	25.3	24.8	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	4.5	0.9
ppTIR106	4.2	4.1		74.9	25.3	25.4	25.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	4.5	0.9
ppTIR107	4.2	4.1		75	24.8	24.8	24.8	2.3	2.3	2.3	2.4	2.3	4.3	1
		prom											prom	0.9
													Desv. St.	0.04714045

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD 5T2R2														
MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	Dimensiones seco al horno 100°C						Promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
					ANCHO(mm)			Espesor(mm)						
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho				izquierdo
5T2R207	4.42	4.33	2	75.27	24.57	24.57	24.57	2.6	2.62	2.57	2.59	2.6	4.8	0.9
5T2R208	4.44	4.35	2.07	75.24	24.63	24.61	24.62	2.42	2.4	2.38	2.45	2.41	4.47	0.97
5T2R209	4.37	4.27	2.27	75.3	24.78	24.78	24.78	2.54	2.55	2.58	2.51	2.55	4.75	0.9
5T2R210	4.22	4.12	2.27	75.27	24.56	24.59	24.58	2.49	2.47	2.48	2.48	2.48	4.59	0.9
5T2R211	4.83	4.75	1.8	75.4	24.75	24.72	24.74	2.58	2.59	2.63	2.58	2.6	4.84	0.98
5T2R212	4.89	4.79	2.06	75.27	24.63	24.62	24.63	2.6	2.61	2.58	2.62	2.6	4.82	0.99
5T2R213	4.24	4.16	1.97	75.25	24.67	24.68	24.68	2.42	2.41	2.53	2.45	2.45	4.55	0.91
5T2R214	4.6	4.52	1.95	75.44	24.76	24.75	24.76	2.59	2.61	2.61	2.55	2.59	4.84	0.93
		PROM	2.05										PROM	0.937
		Desv. St.	0.14945212										Desv. St.	0.03640055

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD 5TIR2														
Dimensiones seco al horno 100°C														
MUESTRA	P1 (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	ANCHO(mm)			Espesor(mm)			Promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho				izquierdo
5TIR208	4.3	4.2	1.9	75	25	25	25	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	4.94	0.9
5TIR209	4.3	4.2	1.7	75	25	25	25	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	4.5	0.9
5TIR210	4.4	4.4	1.8	75	24	24	24	2.7	2.6	2.7	2.7	2.6	4.86	0.9
5TIR211	4.4	4.3	2	75	25	25	25	2.4	2.4	2.4	2.5	2.4	4.52	1
5TIR212	4.5	4.4	2	75	25	25	25	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	4.75	0.9
5TIR213	4.3	4.2	2	75	25	25	25	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	4.48	0.9
5TIR214	4.3	4.2	2	75	25	25	25	2.4	2.4	2.4	2.5	2.4	4.5	0.9
		prom	1.9										Prom	0.9
		Desv. St.	0.11248583										Desv. St.	0.03499271

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD 7T1R2														
MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud (mm)	Dimensiones seco al horno 100°C				Espesor(mm)				Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
					derecho	izquierdo	Promedio	mediol	medio2	derecho	izquierdo	promedio		
					derecho	izquierdo	Promedio	mediol	medio2	derecho	izquierdo	promedio		
7T1R208	4.394	4.267	3	75	25	25	25	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	4.605	0.9
7T1R209	4.462	4.344	2.7	76	25	25	25	2.3	2.3	2.4	2.3	2.3	4.368	0.99
7T1R210	4.602	4.475	2.8	76	25	25	25	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	4.603	0.97
7T1R211	4.432	4.319	2.6	76	25	25	25	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	4.258	1.01
7T1R212	4.5	4.371	2.9	75	25	25	25	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	4.541	0.96
7T1R213	4.605	4.482	2.7	75	25	25	25	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	4.645	0.96
7T1R214	4.561	4.445	2.6	75	25	25	25	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	4.577	0.97
		Prom	2.8										Prom	0.97
		Desv. St.	0.13997084										Desv. St.	0.031558174

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD PPT1R2															
MUESTRA	P1 (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	ANCHO(mm)			Espesor(mm)				Promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho	izquierdo				
ppT1R205	4.2	4.106		76	25	25	25	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.4	4.4	0.9
ppT1R206	4	3.942		76	24	24	24	2.3	2.3	2.3	2.2	2.4	2.3	4.1	1
ppT1R207	4.3	4.43		76	25	25	25	2.3	2.3	2.4	2.5	2.3	2.4	4.6	1
ppT1R208	4.2	4.115		75	25	25	25	2.3	2.3	2.3	2.5	2.6	2.4	4.6	0.9
														prom	0.9
														Desv. St.	0.05

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD 5T2R2														
Dimensiones seco al horno 100°C														
MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	ANCHO(mm)			Espesor(mm)				Promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho	izquierdo			
5T2R207	4.4157	4.3292	1.998	75.3	24.57	24.57	24.57	2.6	2.62	2.57	2.59	2.595	4.799	0.902
5T2R208	4.4384	4.3485	2.067	75.2	24.63	24.61	24.62	2.42	2.4	2.38	2.45	2.413	4.469	0.973
5T2R209	4.3693	4.2724	2.268	75.3	24.78	24.78	24.78	2.54	2.55	2.58	2.51	2.545	4.749	0.9
5T2R210	4.2176	4.1238	2.275	75.3	24.56	24.59	24.575	2.49	2.47	2.48	2.48	2.48	4.587	0.899
5T2R211	4.8321	4.7466	1.801	75.4	24.75	24.72	24.735	2.58	2.59	2.63	2.58	2.595	4.84	0.981
5T2R212	4.8852	4.7864	2.064	75.3	24.63	24.62	24.625	2.6	2.61	2.58	2.62	2.603	4.824	0.992
5T2R213	4.2418	4.1598	1.971	75.3	24.67	24.68	24.675	2.42	2.41	2.53	2.45	2.453	4.554	0.913
5T2R214	4.6034	4.5152	1.953	75.4	24.76	24.75	24.755	2.59	2.61	2.61	2.55	2.59	4.837	0.933
		prom	2.05										prom	0.937
		Desv. St.	0.14957769										Desv. St.	0.036888133

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD 7T2R2														
Dimensiones seco al horno 100°C														
MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	ANCHO(mm)			Espesor(mm)				Promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho	izquierdo			
7T2R207	4.3515	4.265	2.028	75.2	24.41	24.42	24.415	2.53	2.57	2.62	2.48	2.55	4.679	0.911
7T2R208	4.4011	4.2682	3.114	75.3	24.59	24.56	24.575	2.65	2.67	2.68	2.61	2.653	4.906	0.87
7T2R209	4.437	4.3201	2.706	75.4	24.7	24.71	24.705	2.58	2.61	2.6	2.54	2.583	4.812	0.898
7T2R210	4.4782	4.4083	1.586	75	24.58	24.59	24.585	2.52	2.5	2.45	2.53	2.5	4.612	0.956
7T2R211	4.4498	4.3311	2.741	75.2	24.69	24.69	24.69	2.47	2.48	2.5	2.39	2.46	4.569	0.948
7T2R212	4.4934	4.4644	0.65	75.3	24.73	24.71	24.72	2.47	2.47	2.41	2.52	2.468	4.592	0.972
7T2R213	4.5548	4.3898	3.759	75.4	24.71	24.65	24.68	2.46	2.48	2.49	2.49	2.48	4.613	0.952
7T2R214	4.5005	4.4054	2.159	75.2	24.54	24.58	24.56	2.51	2.51	2.59	2.48	2.523	4.659	0.946
		Prom	2.343										Prom	0.932
		Desv. St.	0.89875253										Desv. St.	0.032534357

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD PPT2R2														
Dimensiones seco al horno 100°C														
MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	ANCHO(mm)			Espesor(mm)				Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
					derecho	izquierdo	Promedio	medio 1	medio 2	derecho	izquierdo			promedio (mm)
PPT2R205	4.2084	4.0817		75.4	24.48	24.29	24.385	2.4	2.49	2.4	2.42	2.428	4.466	0.914
PPT2R206	4.2311	4.1091		75.9	24.93	25.12	25.025	2.38	2.39	2.37	2.33	2.368	4.499	0.913
PPT2R207	4.2833	4.1646		75.9	25.3	25.57	25.435	2.41	2.4	2.4	2.35	2.39	4.612	0.903
PPT2R208	4.2355	4.1107		75.8	24.53	24.64	24.585	2.45	2.4	2.55	2.4	2.45	4.564	0.901
													Prom	0.908
													Desv. St.	0.005804093

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD 5T2R1															
Dimensiones seco al horno 100°C															
MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	ANCHO(mm)			Espesor(mm)				Promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho	izquierdo				
5T2R101	4.0976	4.0245	1.816	75.1	24.77	24.77	24.77	24.77	2.42	2.43	2.43	2.38	2.415	4.492	0.896
5T2R102	4.5771	4.4877	1.992	75.1	24.43	24.43	24.43	24.43	2.53	2.52	2.51	2.61	2.543	4.667	0.962
5T2R103	4.3852	4.3176	1.566	75.4	24.03	24.63	24.33	24.33	2.45	2.45	2.53	2.49	2.48	4.548	0.949
5T2R104	4.2541	4.1731	1.941	75.3	24.66	24.64	24.65	24.65	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	4.587	0.91
5T2R105	4.5695	4.4851	1.882	75.4	24.54	24.51	24.525	24.525	2.4	2.4	2.4	2.45	2.413	4.459	1.006
		Prom	1.839											Prom	0.944
		Desv. St.	0.14880806											Desv. St.	0.039118282

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD 7T2R1															
Dimensiones seco al horno 100°C															
MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	ANCHO(mm)			Espesor(mm)				Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )		
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho	izquierdo			Promedio (mm)	
7T2R101	4.6002	4.4945	2.352	75.1	24.62	24.58	24.6	2.48	2.45	2.48	2.48	2.45	2.465	4.553	0.987
7T2R102	4.4986	4.366	3.037	74.9	24.82	24.82	24.82	2.41	2.41	2.46	2.46	2.45	2.433	4.521	0.966
7T2R103	4.5584	4.4503	2.429	75.3	24.89	24.91	24.9	2.46	2.45	2.45	2.5	2.44	2.463	4.615	0.964
7T2R104	4.5628	4.4438	2.678	74.8	24.89	24.91	24.9	2.45	2.45	2.43	2.43	2.48	2.453	4.568	0.973
7T2R105	4.4162	4.2971	2.772	75.1	24.63	24.65	24.64	2.47	2.48	2.51	2.49	2.49	2.488	4.605	0.933
		Prom	2.653											Prom	0.965
		Desv. St.	0.24617766											Desv. St.	0.017738095

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

C.H. Y DENSIDAD 7T2R1																
MUESTRA	Pi (al salir de la QUV)(gr)	Pf (seco al horno 100°C)(gr)	C.H. (%)	Longitud(mm)	ANCHO(mm)						Espesor(mm)				Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
					derecho	izquierdo	Promedio	medio1	medio2	derecho	izquierdo	Promedio (mm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )		
ppT2R101	4.2181	4.0892		75.8	24.32	24.28	24.3	2.38	2.37	2.51	2.31	2.393	4.407	0.928		
ppT2R102	4.1263	3.9807		75.5	23.99	23.94	23.965	2.36	2.38	2.26	2.53	2.383	4.31	0.924		
ppT2R103	4.3338	4.2139		75.7	24.03	23.97	24	2.49	2.47	2.47	2.48	2.478	4.502	0.936		
ppT2R104	4.0922	3.9867		75.5	23.83	23.84	23.835	2.37	2.37	2.32	2.45	2.378	4.278	0.932		
ppT2R105	4.1205	3.9852		75.5	24.23	24.2	24.215	2.32	2.32	2.29	2.4	2.333	4.262	0.935		
													Prom	0.931		
													Desv. St.	0.004472136		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ANEXO 13

DATOS PARA ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO

Código de probeta		Absorción e hinchamiento 5T1R1													
		Peso (g)						Espesor (mm)							
		medio 1		medio 2		derecho		izquierdo							
0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h				
5T1R101	4.761	4.9866	5.36	2.48	2.49	2.55	2.48	2.49	2.54	2.55	2.57	2.64	2.44	2.46	2.5
5T1R102	4.7614	4.9938	5.3891	2.48	2.51	2.56	2.48	2.51	2.56	2.44	2.48	2.49	2.51	2.56	2.6
5T1R103	4.4163	4.6263	4.8561	2.58	2.59	2.63	2.57	2.6	2.63	2.62	2.62	2.65	2.54	2.53	2.56
5T1R104	4.731	4.8934	5.4	2.55	2.53	2.55	2.51	2.54	2.59	2.54	2.56	2.59	2.5	2.46	2.51
5T1R105	4.385	4.8123	5.123	2.49	2.59	2.58	2.45	2.53	2.48	2.6	2.59	2.49	2.49	2.56	2.55
5T1R106	4.89	4.8654	5.2981	2.6	2.54	2.59	2.58	2.53	2.68	2.54	2.51	2.65	2.61	2.52	2.57
5T1R107	4.543	4.8701	4.987	2.4	2.52	2.59	2.5	2.6	2.58	2.48	2.49	2.55	2.55	2.55	2.52

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Absorción e hinchamiento 7T1R1

Código de probeta	Peso (g)			Espesor (mm)											
	0 h	2 h		medio 1			medio 2			derecho			izquierdo		
			2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h
7T1R101	4.5158	4.8019	5.2381	2.55	2.57	2.61	2.55	2.58	2.63	2.51	2.53	2.55	2.43	2.47	2.52
7T1R102	4.4802	4.7917	5.3543	2.58	2.61	2.66	2.57	2.62	2.64	2.52	2.53	2.58	2.62	2.64	2.67
7T1R103	4.3013	4.6556	5.2495	2.61	2.65	2.67	2.6	2.64	2.68	2.56	2.6	2.62	2.61	2.65	2.68
7T1R104	4.5187	4.7721	5.2321	2.55	2.65	2.65	2.57	2.65	2.69	2.53	2.65	2.7	2.43	2.7	2.52
7T1R105	4.4156	4.7417	5.2807	2.58	2.61	2.69	2.58	2.59	2.52	2.55	2.45	2.43	2.7	2.45	2.62
7T1R106	4.4298	4.7312	5.2987	2.61	2.59	2.69	2.61	2.69	2.66	2.52	2.55	2.59	2.55	2.59	2.65
7T1R107	4.3998	4.7543	5.3002	2.53	2.6	2.59	2.53	2.49	2.65	2.52	2.49	2.61	2.58	2.62	2.59

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Absorción e hinchamiento 5T1R2

Código de probeta	Peso (g)						Espesor (mm)															
	0 h			24 h			medio 1				medio 2				derecho				izquierdo			
	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	
5T1R201	4.3762	4.6386	5.1171	2.5	2.55	2.58	2.52	2.53	2.57	2.45	2.47	2.48	2.51	2.52	2.55	2.45	2.47	2.48	2.51	2.52	2.55	
5T1R202	4.4062	4.6655	5.1271	2.49	2.51	2.54	2.49	2.53	2.55	2.5	2.53	2.56	2.54	2.57	2.58	2.5	2.53	2.56	2.54	2.57	2.58	
5T1R203	4.5222	4.7834	5.2939	2.61	2.64	2.67	2.61	2.64	2.68	2.58	2.58	2.63	2.66	2.7	2.72	2.58	2.58	2.63	2.66	2.7	2.72	
5T1R204	4.4931	4.7301	5.1973	2.59	2.59	2.7	2.52	2.59	2.61	2.45	2.48	2.47	2.56	2.7	2.62	2.45	2.48	2.47	2.56	2.7	2.62	
5T1R205	4.4298	4.6685	5.1218	2.49	2.53	2.49	2.54	2.49	2.64	2.53	2.55	2.57	2.56	2.6	2.67	2.53	2.55	2.57	2.56	2.6	2.67	
5T1R206	4.401	4.6552	5.1801	2.53	2.65	2.61	2.55	2.57	2.58	2.5	2.51	2.6	2.55	2.49	2.59	2.5	2.51	2.6	2.55	2.49	2.59	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Absorción e hinchamiento 7T1R2																		
Código de probeta	Peso (g)						Espesor (mm)											
	0 h			24 h			medio 1			medio 2			derecho			izquierdo		
	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h
7T1R201	4.4858	4.6704	4.8525	2.43	2.47	2.48	2.46	2.48	2.51	2.52	2.54	2.55	2.46	2.48	2.52	2.46	2.48	2.52
7T1R202	4.4795	4.7144	5.0395	2.63	2.66	2.67	2.63	2.64	2.66	2.56	2.59	2.58	2.68	2.71	2.73	2.68	2.71	2.73
7T1R203	4.5761	4.7322	4.9186	2.48	2.5	2.51	2.51	2.53	2.53	2.59	2.6	2.61	2.45	2.46	2.48	2.45	2.46	2.48
7T1R204	4.5234	4.7198	4.8622	2.5	2.49	2.5	2.45	2.45	2.5	2.49	2.58	2.53	2.44	2.55	2.58	2.44	2.55	2.58
7T1R205	4.4998	4.6889	4.9471	2.48	2.49	2.48	2.61	2.49	2.6	2.58	2.61	2.59	2.37	2.44	2.55	2.37	2.44	2.55
7T1R206	4.5142	4.7054	4.9371	2.49	2.59	2.49	2.52	2.68	2.59	2.58	2.6	2.58	2.78	2.59	2.6	2.78	2.59	2.6

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Absorción e hinchamiento 5T2R2

Código de probeta	Peso (g)			Espesor (mm)														
	0 h	2 h	24 h	medio 1			medio 2			derecho			izquierdo					
				0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h			
5T2R201	4.1995	4.4919	5.0064	2.5	2.53	2.57	2.5	2.53	2.57	2.53	2.55	2.53	2.45	2.48	2.53	2.43	2.47	2.5
5T2R202	3.9967	4.3258	4.8887	2.48	2.51	2.53	2.47	2.51	2.53	2.48	2.48	2.45	2.39	2.43	2.44	2.43	2.48	2.54
5T2R203	4.0227	4.323	4.8481	2.43	2.45	2.48	2.41	2.45	2.48	2.48	2.43	2.51	2.56	2.57	2.42	2.45	2.48	2.48
5T2R204	4.5485	4.8182	5.2235	2.47	2.52	2.53	2.48	2.51	2.53	2.53	2.44	2.44	2.45	2.48	2.47	2.51	2.52	2.54
5T2R205	4.6003	4.857	5.1872	2.55	2.49	2.53	2.48	2.49	2.53	2.48	2.45	2.44	2.44	2.45	2.48	2.47	2.51	2.52
5T2R206	4.1348	4.4435	5.0176	2.53	2.55	2.62	2.55	2.57	2.62	2.57	2.57	2.58	2.58	2.57	2.6	2.48	2.49	2.54

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Absorción e hinchamiento 5T2R1																		
Código de probeta	Peso (g)						Espesor (mm)											
	0 h			24 h			medio 1			medio 2			derecho			izquierdo		
	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h
5T2R106	4.2244	4.5428	5.0792	2.45	2.47	2.48	2.47	2.47	2.49	2.49	2.49	2.44	2.46	2.46	2.46	2.46	2.49	2.49
5T2R107	4.5628	4.8501	5.3107	2.46	2.5	2.53	2.47	2.47	2.52	2.58	2.54	2.57	2.57	2.57	2.47	2.52	2.52	2.52
5T2R108	4.2237	4.5544	5.0717	2.42	2.46	2.47	2.42	2.42	2.45	2.45	2.41	2.44	2.44	2.45	2.45	2.45	2.47	2.47
5T2R109	4.4712	4.7477	5.2357	2.49	2.51	2.53	2.49	2.49	2.52	2.53	2.53	2.53	2.56	2.55	2.42	2.47	2.47	2.48
5T2R110	4.4833	4.814	5.2958	2.52	2.57	2.57	2.52	2.52	2.56	2.57	2.5	2.52	2.52	2.53	2.54	2.6	2.59	2.59

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Absorción e hinchamiento 7T2R2															
Código de probeta	Peso (g)			Espesor (mm)											
	0 h	2 h	24 h	medio 1			medio 2			derecho			izquierdo		
				0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h	0 h	2 h	24 h
7T2R201	4.1908	4.3842	4.6284	2.67	2.68	2.69	2.69	2.69	2.7	2.61	2.62	2.62	2.72	2.73	2.73
7T2R202	4.5508	4.6901	4.8669	2.42	2.42	2.43	2.42	2.42	2.42	2.42	2.45	2.44	2.49	2.52	2.51
7T2R203	4.3961	4.6082	4.7981	2.48	2.5	2.52	2.47	2.5	2.52	2.48	2.5	2.5	2.43	2.46	2.44
7T2R204	4.4395	4.5953	4.7292	2.34	2.35	2.35	2.35	2.36	2.38	2.41	2.43	2.43	2.35	2.34	2.37
7T2R205	4.4684	4.6721	4.9204	2.44	2.47	2.5	2.45	2.49	2.5	2.46	2.48	2.51	2.47	2.5	2.52
7T2R206	4.4702	4.6905	5.0017	2.62		2.65	2.65		2.67	2.61		2.62	2.61		2.62

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

ANEXO 14

PRUEBAS DE TENSIÓN

TENSIÓN 5T1R1											
N° probeta	ESFUERZO EN DEFORMACION	ESFUERZO DE FLUENCIA	DEFORMACION DE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TRACCION	DEFORMACION DE TRACCION	SIN PORCENTAJE	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ELP		A <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	
								S <sub>B</sub> (Mpa)	e <sub>B</sub> (%)		h (mm)
	S <sub>X1</sub> (Mpa)	S <sub>Y</sub> (Mpa)	e <sub>Y</sub> (%)	S <sub>M</sub> (Mpa)	e <sub>M</sub> (%)	100	MOE (GPa)	S <sub>B</sub> (Mpa)	e <sub>B</sub> (%)	h (mm)	b (mm)
5T1R101	9.57	-	-	13.6	1.1	0.0110	1.2	13.6	1.1	2.55	13.26
5T1R102	7.02	-	-	10.4	1.1	0.0110	0.9	10.4	1.1	2.63	13.32
5T1R103	6.68	-	-	10.5	1.3	0.0130	0.8	10.5	1.3	2.55	13.13
5T1R104	8.64	-	-	12.2	1.4	0.0140	0.9	12.2	1.4	2.53	13.04
5T1R105	5.03	-	-	9.1	1.5	0.0150	0.6	9.1	1.5	2.62	13.07
5T1R106	6.98	11.1	1.4	11.1	1.4	0.0140	0.8	11.1	1.4	2.58	13.1
5T1R107	8.18	12.4	1.2	12.4	1.2	0.0120	1.0	12.4	1.2	2.48	13.16
5T1R108	7.15	-	-	10.4	1.1	0.0110	0.9	10.4	1.1	2.65	13.05
<b>PROMEDIO</b>	7.41	11.8	1.3	11.2	1.3	0.0130	0.9	11.2	1.3	2.57 <sup>4</sup>	13.14
<b>s</b>	1.38	0.896	0.11	1.43	0.15	0.0015	<b>0.20</b>	1.43	0.15	0.05	0.101
<b>n</b>	18.68	7.62	8.46	12.73	11.93			12.73	11.93	2.23	0.77
								3	93		2.35

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TENSION 7TIRI													
N° probeta	ESFUERO EN DEFORMACION	ESFUERO DE FLUENCIA	ESFUERO DE FLUENCIA	DEFORMACION DE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TRACCION MOR (MPa)	DEFORMACION DE TRACCION	SIN PORCENTAJE	MÓDULO DE ELASTICIDAD	SB (Mpa) ELP	eB (%)	h (m)	b (mm)	A0 (mm²)
7TIR1 01	12.1	-	-	-	13.2	1.6	0.0160	0.8	13.2	1.6	2.52	13.25	33.39
7TIR1 02	7.08	11	1.3	1.3	11	1.3	0.0130	0.8	11	1.3	2.68	13.13	35.19
7TIR1 03	8.01	13.8	1.8	1.8	13.8	1.8	0.0180	0.8	13.8	1.8	2.51	13.24	33.23
7TIR1 04	9.8	-	-	-	15.7	1.5	0.0150	1.0	15.7	1.5	2.47	12.99	32.09
7TIR1 05	9.42	-	-	-	12	1.2	0.0120	1.0	12	1.2	2.46	13.18	32.42
7TIR1 06	8.52	14	1.6	1.6	14	1.6	0.0160	0.9	14	1.6	2.55	13.3	33.92
7TIR1 07	7.99	13.1	1.4	1.4	13.1	1.4	0.0140	0.9	13.1	1.4	2.54	13.29	33.76
7TIR1 08	8.35	-	-	-	13.4	1.6	0.0160	0.8	13.4	1.6	2.43	13.22	32.12
<b>PROMEDIO</b>	<b>8.91</b>	<b>13.0</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>13.3</b>	<b>1.5</b>	<b>0.0150</b>	<b>0.9</b>	<b>13.3</b>	<b>1.5</b>	<b>2.52</b>	<b>13.20</b>	<b>33.27</b>
<b>s</b>	<b>1.54</b>	1.36	0.21	0.21	1.39	<b>0.18</b>		<b>0.09</b>	<b>1.39</b>	<b>0.18</b>	0.07672	0.1014	1.05
<b>n</b>	<b>17.3</b>	10.51	13.49	13.49	10.43	<b>12.19</b>			<b>10.43</b>	<b>12.19</b>	3.04	0.77	3.17

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TENSION 5TIR2														
N° probeta	ESFUERZO EN DEFORMACION	ESFUERZO DE FLUENCIA	DEFORMACION DE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TRACCION	DEFORMACION DE TRACCION	MOR (MPa)	eM (%)	SIN PORCENTAJE	MÓDULO ELASTICIDAD	SB (Mpa)	eB (%)	h (mm)	b (mm)	A0 (mm²)
5T1R201	7.82	12	1.2	12	1.2	12	1.2	0.0120	1.0	12	1.2	2.49	13.02	32.42
5T1R202	10.2	-	-	13.8	0.99	13.8	0.99	0.0099	1.4	13.8	0.99	2.56	13.21	33.82
5T1R203	7.4	12	1.5	12	1.5	12	1.5	0.0150	0.8	12	1.5	2.5	13.2	33
5T1R204	7.89	-	-	9.97	1.1	9.97	1.1	0.0110	0.9	9.97	1.1	2.69	13.41	36.07
5T1R205	9.8	-	-	14.2	1.1	14.2	1.1	0.0110	1.3	14.2	1.1	2.55	13.34	34.02
5T1R206	9.38	13.7	1.2	13.7	1.2	13.7	1.2	0.0120	1.1	13.7	1.2	2.57	13.04	33.51
5T1R207	6.73	8.93	1.3	8.93	1.3	8.93	1.3	0.0130	0.7	8.93	1.3	2.53	13.08	33.09
5T1R208	13.4	-	-	15.3	1.3	15.3	1.3	0.0130	1.2	15.3	1.3	2.54	13.14	33.38
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.1</b>	<b>11.7</b>	<b>1.3</b>	<b>12.5</b>	<b>1.2</b>	<b>12.5</b>	<b>1.2</b>	<b>0.0121</b>	<b>1.0</b>	<b>12.5</b>	<b>1.2</b>	<b>2.554</b>	<b>13.18</b>	<b>33.66</b>
<b>s</b>	<b>2.13</b>	<b>1.99</b>	<b>0.13</b>	<b>2.19</b>	<b>0.16</b>	<b>2.19</b>	<b>0.16</b>		<b>0.24</b>	<b>2.19</b>	<b>0.16</b>	<b>0.0617</b>	<b>0.1397</b>	<b>1.09</b>
<b>n</b>	<b>23.52</b>	<b>17.1</b>	<b>9.69</b>	<b>17.51</b>	<b>12.74</b>	<b>17.51</b>	<b>12.74</b>			<b>17.51</b>	<b>12.74</b>	<b>2.41</b>	<b>1.06</b>	<b>3.25</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TENSIÓN 7T1R2																
N° probeta	ESFUERZO EN DEFORMACION	S <sub>xl</sub> (Mpa)	ESFUERZO DE FLUENCIA	S <sub>y</sub> (Mpa)	DEFORMACION DE FLUENCIA	e <sub>y</sub> (%)	RESISTENCIA A LA TRACCION		DEFORMACION DE TRACCIÓN	SIN PORCENTAJE	MÓDULO DE ELASTICIDAD	S <sub>B</sub> (Mpa)	e <sub>B</sub> (%)	h (mm)	b (mm)	A <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )
							MOR (MPa)	S <sub>M</sub> (Mpa)								
7T1R201	7.87	-	-	-	-	-	9.58	9.58	0.92	0.0092	1.0	9.58	0.92	2.63	12.93	34.01
7T1R202	5.63	8.6	8.6	1.1	1.1	-	8.6	8.6	1.1	0.0110	0.8	8.6	1.1	2.62	13.34	34.95
7T1R203	6.47	-	-	-	-	-	9.88	9.88	1.3	0.0130	0.8	9.88	1.3	2.7	13.02	35.15
7T1R204	9.53	-	-	-	-	-	10.3	10.3	1.1	0.0110	0.9	10.3	1.1	2.54	12.95	32.89
7T1R205	6.54	-	-	-	-	-	10.5	10.5	1.2	0.0120	0.9	10.5	1.2	2.59	12.93	34.16
7T1R206	8.04	-	-	-	-	-	10.3	10.3	0.75	0.0075	1.4	10.3	0.75	2.51	13.07	32.81
7T1R207	9.1	13	13	1.1	1.1	-	13	13	1.1	0.0110	1.2	13	1.1	2.48	13.05	32.36
7T1R208	8.64	12.1	12.1	1.8	1.8	-	12.1	12.1	1.8	0.0180	0.7	12.1	1.8	2.72	13.3	36.18
<b>PROMEDIO</b>	<b>7.7</b>	<b>11.2</b>	<b>11.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>10.5</b>	<b>10.5</b>	<b>1.2</b>	<b>0.0116</b>	<b>0.9</b>	<b>10.5</b>	<b>1.2</b>	<b>2.6</b>	<b>13.1</b>	<b>34.1</b>
<b>s</b>	<b>1.39</b>	<b>2.33</b>	<b>2.33</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>0.31</b>		<b>0.24</b>	<b>1.4</b>	<b>0.31</b>	<b>0.0861</b>	<b>0.1613</b>	<b>1.33</b>
<b>v</b>	<b>17.95</b>	<b>20.72</b>	<b>20.72</b>	<b>30.01</b>	<b>30.01</b>	<b>30.01</b>	<b>13.32</b>	<b>13.32</b>	<b>26.31</b>			<b>13.32</b>	<b>26.31</b>	<b>3.31</b>	<b>1.23</b>	<b>3.89</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TENSIÓN 5T2R2												
N° probeta	ESFUERZO EN DEFORMACION	S <sub>x1</sub> (Mpa)	ESFUERZO DE FLUENCIA	S <sub>y</sub> (Mpa)	DEFORMACION DE FLUENCIA	e <sub>y</sub> (%)	RESISTENCIA A LA TRACCION		DEFORMACION DE TRACCIÓN	SIN PORCENTAJE	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ELP
							S <sub>M</sub> (Mpa)	MOR (MPa)				
5T2R201	9.49		13	13	1.1	1.1	13	13	1.1	0.0110	1.2	13
5T2R202	6.14		8.17	8.17	0.92	0.92	8.17	8.17	0.92	0.0092	0.9	8.17
5T2R203	8.46		12.5	12.5	1.1	1.1	12.5	12.5	1.1	0.0110	1.1	12.5
5T2R204	8.66		9.93	9.93	1.2	1.2	9.93	9.93	1.2	0.0120	0.8	9.93
5T2R205	7.02		9.07	9.07	0.94	0.94	9.07	9.07	0.94	0.0094	1.0	9.07
5T2R206	9.24		-	-	-	-	10.6	10.6	1.4	0.0140	0.8	10.6
5T2R207	7.49		-	-	-	-	10.5	10.5	1.1	0.0110	1.0	10.5
5T2R208	7.18		-	-	-	-	11.5	11.5	1.4	0.0140	0.8	11.5
<b>PROMEDIO</b>	<b>7.96</b>		<b>10.5</b>	<b>10.5</b>	<b>1.1</b>	<b>1.1</b>	<b>10.7</b>	<b>10.7</b>	<b>1.1</b>	<b>0.0115</b>	<b>0.9</b>	<b>10.7</b>
s	<b>1.18</b>		2.13	2.13	0.13	0.13	1.64	1.64	<b>0.18</b>		<b>0.15</b>	<b>1.64</b>
v	<b>14.84</b>		20.22	20.22	12.08	12.08	15.41	15.41	<b>15.54</b>			<b>15.41</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TENSION 7T2R2																	
N° probeta	ESFUERZO EN DEFORMACION	S <sub>xl</sub> (Mpa)	ESFUERZO DE FLUENCIA	S <sub>Y</sub> (Mpa)	DEFORMACION DE FLUENCIA	e <sub>Y</sub> (%)	RESISTENCIA A LA TRACCION		DEFORMACION DE TRACCIÓN	SIN PORCENTAJE	MÓDULO DE ELASTICIDAD	S <sub>B</sub> (Mpa)	ELP	e <sub>B</sub> (%)	h (mm)	b (mm)	A <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )
							MOR (MPa)	S <sub>M</sub> (Mpa)									
7T2R201	8.32	12.4	12.4	1.4	1.4	1.4	12.4	12.4	1.4	0.0140	0.9	12.4		1.4	2.69	12.84	34.54
7T2R202	10.7	14.2	14.2	1.1	1.1	1.1	14.2	14.2	1.1	0.0110	1.3	14.2		1.1	2.44	12.88	31.43
7T2R203	7.83	-	-	-	-	-	11.4	11.4	1.3	0.0130	0.9	11.4		1.3	2.72	12.94	35.2
7T2R204	7.38	-	-	-	-	-	11.8	11.8	1.4	0.0140	0.8	11.8		1.4	2.59	12.8	33.15
7T2R205	10.2	-	-	-	-	-	12.3	12.3	1.4	0.0140	0.9	12.3		1.4	2.45	12.91	31.63
7T2R206	8.1	11.7	11.7	1.4	1.4	1.4	11.7	11.7	1.4	0.0140	0.8	11.7		1.4	2.55	12.78	32.59
7T2R207	6.89	10	10	1.2	1.2	1.2	10	10	1.2	0.0120	0.8	10		1.2	2.74	12.56	34.41
7T2R208	5.34	8.04	8.04	1.4	1.4	1.4	8.04	8.04	1.4	0.0140	0.6	8.04		1.4	2.87	12.61	36.19
<b>PROMEDIO</b>	<b>8.1</b>	<b>11.3</b>	<b>11.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>11.5</b>	<b>11.5</b>	<b>1.3</b>	<b>0.0133</b>	<b>0.9</b>	<b>11.5</b>		<b>1.3</b>	<b>2.6</b>	<b>12.8</b>	<b>33.6</b>
<b>s</b>	<b>1.73</b>	<b>2.36</b>	<b>2.36</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>1.82</b>	<b>1.82</b>	<b>0.12</b>		<b>0.20</b>	<b>1.82</b>		<b>0.12</b>	<b>0.1502</b>	<b>0.1378</b>	<b>1.72</b>
<b>v</b>	<b>21.41</b>	<b>20.89</b>	<b>20.89</b>	<b>11.43</b>	<b>11.43</b>	<b>11.43</b>	<b>15.85</b>	<b>15.85</b>	<b>9.22</b>			<b>15.85</b>		<b>9.22</b>	<b>5.71</b>	<b>1.08</b>	<b>5.1</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TENSION 5T2R1												
N° probeta	ESFUERZO EN DEFORMACION	ESFUERZO DE FLUENCIA	DEFORMACION DE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TRACCION	DEFORMACION DE TRACCIÓN	SIN PORCENTAJE	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ELP	e <sub>B</sub> (%)	h (mm)	b (mm)	A <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )
5T2R101	6.6	-	-	10	1.30	0.0130	0.8	10	1.30	2.64	12.88	34
5T2R102	8.07	-	-	11.4	1.20	0.0120	1.0	11.4	1.20	2.57	12.87	33.08
5T2R103	7.52	-	-	11.1	1.50	0.0150	0.7	11.1	1.50	2.63	12.9	33.93
5T2R104	7.64	-	-	8.99	1.50	0.0150	0.6	8.99	1.50	2.6	12.93	33.62
5T2R105	9	12.5	1.30	12.5	1.30	0.0130	1.0	12.5	1.30	2.62	12.9	33.8
5T2R106	8.97	13.6	1.30	13.6	1.30	0.0130	1.0	13.6	1.30	2.64	12.94	34.16
5T2R107	7.85	11.5	1.30	11.5	1.30	0.0130	0.9	11.5	1.30	2.63	12.92	33.98
5T2R108	8.8	-	-	12	1.20	0.0120	1.0	12	1.20	2.79	12.92	36.05
5T2R109	6.75	-	-	8.9	1.00	0.0100	0.9	8.9	1.00	2.56	12.88	32.97
5T2R110	8.66	11.6	1.50	11.6	1.50	0.0150	0.8	11.6	1.50	2.57	13.02	34.09
5T2R111	7.49	11.1	1.30	11.1	1.30	0.0130	0.9	11.1	1.30	2.62	13.01	34.09
5T2R112	9.6	0.0618	0.00	10.1	0.61	0.0061	1.7	10.1	0.61	2.53	13.08	33.09
5T2R113	10	13	1.20	13	1.20	0.0120	1.1	13	1.20	2.6	13.03	33.88
<b>PROMEDIO</b>	<b>8.2</b>	<b>10.5</b>	<b>1.1</b>	<b>11.2</b>	<b>1.2</b>	<b>0.0125</b>	<b>0.9</b>	<b>11.2</b>	<b>1.2</b>	<b>2.6</b>	<b>12.9</b>	<b>33.9</b>
<b>s</b>	<b>1.04</b>	<b>4.68</b>	<b>0.51</b>	<b>1.43</b>	<b>0.24</b>	<b>0.00</b>	<b>0.25</b>	<b>1.43</b>	<b>0.24</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.77</b>
<b>v</b>												

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TENSIÓN 7T2R1												
N° probeta	ESFUERZO EN DEFORMACION	ESFUERZO DE FLUENCIA	DEFORMACION DE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TRACCION	DEFORMACION DE TRACCIÓN	SIN PORCENTAJE	MÓDULO DE ELASTICIDAD	ELP	e <sub>B</sub> (%)	h (mm)	b (mm)	A <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )
7T2R101	12.7	0.0525	0.00	12.9	0.56	0.0056	2.3	12.9	0.56	2.3	12.9	29.67
7T2R102	9.31	10.9	0.80	10.9	0.80	0.0080	1.4	10.9	0.80	2.47	12.83	31.69
7T2R103	8.97	11.9	1.40	11.9	1.40	0.0140	0.9	11.9	1.40	2.62	12.74	33.38
7T2R104	8.44	13.5	1.60	13.5	1.60	0.0160	0.8	13.5	1.60	2.6	12.79	33.25
7T2R105	7.24	-	-	9.27	0.87	0.0087	1.1	9.27	0.87	2.73	12.69	34.64
7T2R106	16.2	-	-	16.9	1.50	0.0150	1.1	16.9	1.50	2.59	12.92	33.46
7T2R107	12.4	12.7	1.20	12.7	1.20	0.0120	1.1	12.7	1.20	2.6	12.8	33.28
7T2R108	11.5	16.6	1.40	16.6	1.40	0.0140	1.2	16.6	1.40	2.42	12.86	31.12
7T2R109	9.53	-	-	11.7	0.89	0.0089	1.3	11.7	0.89	2.39	12.87	30.76
7T2R110	7.16	8.55	0.80	8.55	0.80	0.0080	1.1	8.55	0.80	2.53	13	32.89
7T2R111	7.04	-	-	8.81	0.83	0.0083	1.1	8.81	0.83	2.72	13.39	36.42
7T2R112	7.29	11.3	1.10	11.3	1.10	0.0110	1.0	11.3	1.10	2.6	13.24	34.42
7T2R113	8.22	-	-	11.1	1.30	0.0130	0.9	11.1	1.30	2.65	12.92	34.24
<b>PROMEDIO</b>	<b>9.7</b>	<b>10.7</b>	<b>1.0</b>	<b>12.0</b>	<b>1.1</b>	<b>0.0110</b>	<b>1.1</b>	<b>12.0</b>	<b>1.1</b>	<b>2.6</b>	<b>12.9</b>	<b>33.0</b>
<b>s</b>	<b>2.76</b>	<b>4.88</b>	<b>0.51</b>	<b>2.60</b>	<b>0.33</b>	<b>0.00</b>	<b>0.38</b>	<b>2.60</b>	<b>0.33</b>	<b>0.13</b>	<b>0.20</b>	<b>1.82</b>
<b>v</b>												

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**ANEXO 15**

**PRUEBAS DE FLEXIÓN**

FLEXIÓN 5T1R1									
Código de probeta	P (N)	P' (N)	m (N/mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	ELP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	
5TR102	28.91	8.90	16.42	12.13	2.58	6.58	21.40	1.25	
5TR103	31.14	8.90	13.83	12.26	2.58	6.51	22.80	1.04	
5TR104	31.14	11.12	13.47	12.03	2.56	8.43	23.60	1.06	
5TR105	28.91	11.12	7.30	11.75	2.59	8.43	21.92	0.57	
5TR107	33.36	8.90	9.38	11.90	2.52	7.04	26.38	0.78	
5TR108	22.24	8.90	14.01	11.91	2.60	6.60	16.51	1.06	
5TR109	28.91	6.67	14.59	11.89	2.54	5.20	22.52	1.18	
PROMEDIO	29.23	9.21	12.71	11.98	2.57	6.97	22.16	0.99	
DESV. ST.	3.50	1.53	3.19	0.17	0.03	1.15	2.97	0.24	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FLEXIÓN 7T1R1									
Código de probeta	P (N)	P' (N)	m (N/mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	ELP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	
7T1R101	28.91	8.90	13.13	12.09	2.49	7.09	23.05	1.11	
7T1R102	33.36	8.90	6.74	12.03	2.44	7.42	27.84	0.61	
7T1R103	33.36	11.12	9.47	12.19	2.58	8.19	24.57	0.71	
7T1R104	33.36	11.12	8.21	12.08	2.52	8.66	25.99	0.67	
7T1R105	28.91	11.12	5.84	12.32	2.45	8.99	23.37	0.51	
7T1R107	24.47	8.90	7.30	12.11	2.58	6.60	18.14	0.55	
7T1R108	24.47	8.90	6.87	12.07	2.52	6.94	19.07	0.56	
PROMEDIO	29.55	9.85	8.22	12.13	2.51	7.70	23.15	0.68	
DESV. ST.	4.00	1.19	2.46	0.10	0.06	0.92	3.51	0.20	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FLEXIÓN 5T1R2									
Código de probeta	P (N)	P' (N)	m (N/mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	ELP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	
5T1R201	28.913	6.672	12.509	11.890	2.520	5.281	22.884	1.039	
5T1R202	31.138	11.121	7.505	11.910	2.510	8.857	24.799	0.630	
5T1R203	24.465	6.672	15.921	11.980	2.530	5.200	19.066	1.297	
5T1R204	31.138	6.672	13.826	12.070	2.580	4.963	23.161	1.054	
5T1R205	28.913	6.672	14.594	11.900	2.520	5.276	22.865	1.211	
5T1R208	28.913	8.896	12.509	12.180	2.690	6.032	19.605	0.834	
5T1R209	24.465	6.672	14.594	11.840	2.540	5.220	19.140	1.189	
PROMEDIO	28.278	7.626	13.065	11.967	2.556	5.833	21.646	1.037	
DESV. ST.	2.788	1.750	2.737	0.120	0.063	1.374	2.322	0.234	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Código de probeta	P (N)	P' (N)	m (N/mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	ELP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)
7T1R201	37.81	8.90	9.73	12.00	2.54	6.87	29.19	0.78
7T1R202	28.91	8.90	7.10	12.00	2.51	7.03	22.86	0.59
7T1R203	28.91	4.45	12.51	12.08	2.60	3.26	21.16	0.93
7T1R205	26.69	8.90	6.57	11.98	2.61	6.51	19.54	0.49
7T1R206	33.36	4.45	17.51	12.16	2.44	3.67	27.54	1.57
7T1R209	37.81	11.12	9.73	11.90	2.62	8.14	27.66	0.72
7T1R210	28.91	8.90	8.54	11.98	2.54	6.88	22.36	0.69
PROMEDIO	31.77	7.94	10.24	12.01	2.55	6.05	24.33	0.82
DESV. ST.	4.58	2.52	3.76	0.08	0.06	1.84	3.74	0.36

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FLEXIÓN 5T2R2

Código de probeta	P (N)	P' (N)	m (N/mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	ELP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)
5T2R201	20.017	4.448	16.418	11.900	2.760	2.932	13.196	1.037
5T2R202	26.689	11.121	8.209	12.050	2.630	7.973	19.136	0.592
5T2R203	24.465	6.672	11.299	11.900	2.540	5.194	19.043	0.916
5T2R204	24.465	2.224	23.881	11.860	2.360	2.012	22.134	2.422
5T2R205	24.465	2.224	29.188	11.910	2.780	1.444	15.884	1.803
5T2R206	33.362	2.224	38.917	12.310	2.630	1.561	23.415	2.747
5T2R209	33.362	2.224	58.376	11.860	2.530	1.751	26.262	4.805
PROMEDIO	26.689	4.448	26.612	11.970	2.604	3.267	19.867	2.046
DESV. ST.	4.973	3.397	17.567	0.163	0.145	2.452	4.476	1.456

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FLEXIÓN 7T2R2

Código de probeta	P (N)	P' (N)	m (N/mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	ELP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)
7T2R201	26.69	4.45	21.89	12.06	2.62	3.21	19.27	1.60
7T2R202	33.36	6.67	13.83	12.06	2.59	4.93	24.64	1.04
7T2R203	28.91	6.67	10.01	12.24	2.59	4.86	21.04	0.74
7T2R205	33.36	6.67	16.42	11.91	2.58	5.03	25.15	1.27
7T2R206	28.91	6.67	7.73	12.28	2.59	4.84	20.98	0.57
7T2R207	24.47	6.67	14.59	11.91	2.46	5.53	20.29	1.30
7T2R209	33.36	6.67	12.51	12.01	2.58	4.99	24.94	0.96
PROMEDIO	29.87	6.35	13.85	12.07	2.57	4.77	22.33	1.07
DESV. ST.	3.60	0.84	4.58	0.15	0.05	0.73	2.49	0.35

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FLEXIÓN 5T2R1

Código de probeta	P (N)	P' (N)	m (N/mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	ELP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)
5T2R101	28.913	4.448	23.881	12.080	2.700	3.019	19.621	1.588
5T2R102	28.913	4.448	21.891	11.960	2.520	3.500	22.750	1.808
5T2R103	33.362	4.448	29.188	11.960	2.560	3.391	25.436	2.300
5T2R105	24.465	4.448	13.135	12.040	2.720	2.984	16.413	0.857
5T2R106	24.465	4.448	26.269	12.290	2.660	3.057	16.813	1.795
5T2R107	26.689	4.448	29.188	12.000	2.500	3.544	21.266	2.461
5T2R109	24.465	4.448	19.459	12.050	2.530	3.446	18.955	1.576
PROMEDIO	27.325	4.448	23.287	12.054	2.599	3.277	20.179	1.769
DESV. ST.	3.327	0.000	5.753	0.113	0.092	0.246	3.234	0.527

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FLEXIÓN 7T2R1

Código de probeta	P (N)	P' (N)	m (N/mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	ELP (MPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)
7T2R101	24.465	8.896	7.960	12.080	2.700	6.037	16.602	0.529
7T2R103	24.465	8.896	4.378	11.960	2.560	6.783	18.653	0.345
7T2R104	22.241	4.448	9.729	12.140	2.620	3.190	15.949	0.704
7T2R105	24.465	11.121	8.209	12.040	2.720	7.461	16.413	0.536
7T2R106	24.465	4.448	10.103	12.290	2.660	3.057	16.813	0.691
7T2R107	24.465	4.448	19.459	12.000	2.500	3.544	19.494	1.641
7T2R108	33.362	4.448	13.471	11.900	2.770	2.911	21.835	0.842
PROMEDIO	25.418	6.672	10.473	12.059	2.647	4.712	17.966	0.755
DESV. ST.	3.599	2.871	4.813	0.129	0.094	1.969	2.139	0.421

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**ANEXO 16**

**PRUEBAS DE IMPACTO**

MUESTRA	CODIGO	ESPESOR (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				ENERGIA (J)
			TEMPERATURA INICIAL (C°)	TEMPERATURA FINAL (C°)	ALTURA (m)		
CODIGO 5T1R1	5T1R1 01	2.55	22.4	22.8	0.02	0.39	
	5T1R1 02	2.54	22.2	22.8	0.02	0.39	
	5T1R1 03	2.47	22.4	22.6	0.03	0.59	
	5T1R1 04	2.52	22.2	22.8	0.03	0.59	
	5T1R1 05	2.76	22.4	22.8	0.03	0.59	
	5T1R1 06	2.52	22.6	22.8	0.02	0.39	
	5T1R1 07	2.57	22.6	2.8	0.02	0.39	
	5T1R1 08	2.47	22.2	22.8	0.03	0.59	
	5T1R1 09	2.57	22.4	22.6	0.02	0.39	
PROMEDIO			22.4	22.7	0.022	0.433	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MUESTRA	CODIGO	ESPESOR (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				ENERGIA (J)
			TEMPERATURA INICIAL (C°)	TEMPERATURA FINAL (C°)	ALTURA (m)		
CODIGO 7T1R1	7T1R1 01	2.34	22.4	23.0	0.03	0.59	
	7T1R1 02	2.62	22.4	23.0	0.02	0.39	
	7T1R1 03	2.62	22.4		0.03	0.59	
	7T1R1 04	2.64	22.4	23.0	0.02	0.39	
	7T1R1 05	2.54	22.4	22.8	0.03	0.59	
	7T1R1 06	2.74	22.4	22.8	0.03	0.59	
	7T1R1 07	2.80	22.2	22.8	0.02	0.39	
	7T1R1 08	2.61	22.6	22.8	0.03	0.59	
	7T1R1 09	2.55	22.6	23.2	0.02	0.39	
PROMEDIO			22.4	23.0	0.020	0.394	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MUESTRA	CODIGO	ESPESOR (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				ENERGIA (J)
			TEMPERATURA INICIAL (C°)	TEMPERATURA FINAL (C°)	ALTURA (m)		
CODIGO 5T1R2	5T1R2 01	2.97	22.6	23.2	0.02	0.39	
	5T1R2 02	3.25	22.8	23.0	0.03	0.59	
	5T1R2 03	2.55	22.4	23.0	0.02	0.39	
	5T1R2 04	2.60	22.6	23.2	0.03	0.59	
	5T1R2 05	2.66	22.4	23.0	0.03	0.59	
	5T1R2 06	2.61	22.6	23.2	0.04	0.79	
	5T1R2 07	3.04	22.6	22.8	0.02	0.39	
	PROMEDIO		22.6	23.1	0.023	0.443	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MUESTRA	CODIGO	ESPESOR (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				ENERGIA (J)
			TEMPERATURA INICIAL (C°)	TEMPERATURA FINAL (C°)	ALTURA (m)		
CODIGO 5T2R2	5T2R2 01	2.58	22.4	22.8	0.03	0.59	
	5T2R2 02	2.43	22.4	23.0	0.03	0.59	
	5T2R2 03	2.77	22.4	23.2	0.02	0.39	
	5T2R2 04	2.49	22.6	23.2	0.02	0.39	
	5T2R2 05	2.79	22.6	23.2	0.03	0.59	
	5T2R2 06	2.76	22.4	22.8	0.02	0.39	
	5T2R2 07	2.49	22.6	22.8	0.03	0.59	
	5T2R2 08	2.38	22.6	23.0	0.03	0.59	
	PROMEDIO		22.5	23.0	0.025	0.492	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MUESTRA	CODIGO	ESPESOR (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				ENERGIA (J)
			TEMPERATURA INICIAL (C°)	TEMPERATURA FINAL (C°)	ALTURA (m)		
CODIGO 7T1R2	7T1R2 01	2.62	22.6	22.8	0.02	0.39	
	7T1R2 02	2.61	22.6	23.2	0.03	0.59	
	7T1R2 03	2.97	22.4	-	0.04	0.79	
	7T1R2 04	2.58	22.4	23.2	0.03	0.59	
	7T1R2 05	2.73	22.6	23.2	0.02	0.39	
	7T1R2 06	2.85	22.8	23.0	0.03	0.59	
	7T1R2 07	2.78	23.0	23.4	0.03	0.59	
PROMEDIO			22.6	23.1	0.023	0.460	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MUESTRA	CODIGO	ESPESOR (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				ENERGIA (J)
			TEMPERATURA INICIAL (C°)	TEMPERATURA FINAL (C°)	ALTURA (m)		
CODIGO 7T2R2	7T2R2 01	2.51	22.2	-	0.03	0.59	
	7T2R2 02	2.45	22.6	22.8	0.02	0.39	
	7T2R2 03	3.19	22.6	22.8	0.02	0.39	
	7T2R2 04	3.53	22.2	22.8	0.03	0.59	
	7T2R2 05	3.33	22.4	22.8	0.02	0.39	
	7T2R2 06	3.20	22.4	22.8	0.03	0.59	
	7T2R2 07	2.55	22.4	-	0.03	0.59	
	7T2R2 08	2.53	22.4	23.0	0.02	0.39	
PROMEDIO			22.5	22.9	0.020	0.394	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MUESTRA	CODIGO	ESPESOR (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				ENERGIA (J)
			TEMPERATURA INICIAL (C°)	TEMPERATURA FINAL (C°)	ALTURA (m)		
CODIGO PT1R1	PT1R1 01	2.46	22.2	-	0.02	0.39	
	PT1R1 02	2.28	22.4	22.6	0.01	0.20	
	PT1R1 03	2.53	22.4	-	0.02	0.39	
	PT1R1 04	2.45	22.4	22.6	0.02	0.39	
	PROMEDIO		22.4	22.6	0.015	0.295	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MUESTRA	CODIGO	ESPESOR (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				ENERGIA (J)
			TEMPERATURA INICIAL (C°)	TEMPERATURA FINAL (C°)	ALTURA (m)		
CODIGO PT1R2	PT1R2 01	2.44	22.2	22.4	0.01	0.20	
	PT1R2 02	2.41	22.4	22.8	0.01	0.20	
	PT1R2 03	2.34	22.2	22.8	0.02	0.39	
	PT1R2 04	2.40	22.2	-	0.03	0.59	
	PT1R2 05	2.37	22.4	-	0.02	0.39	
	PT1R2 06	2.56	22.2	-	0.03	0.59	
	PT1R2 07	2.45	22.2	-	0.04	0.79	
	PT1R2 08	2.43	22.4	22.8	0.02	0.39	
PROMEDIO			22.3	22.7	0.015	0.295	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

MUESTRA	CODIGO	ESPESOR (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				ENERGIA (J)
			TEMPERATURA INICIAL (C°)	TEMPERATURA FINAL (C°)	ALTURA (m)		
CODIGO PT2R2	PT2R2 01	2.47	22.6	-	0.02	0.39	
	PT2R2 02	2.45	22.6	22.8	0.01	0.20	
	PT2R2 03	2.66	22.4	22.8	0.01	0.20	
	PT2R2 04	2.57	22.4	22.6	0.01	0.20	
	PT2R2 05	2.42	22.4	-	0.02	0.39	
PROMEDIO			22.5	22.7	0.010	0.197	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA