

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**COMPORTAMIENTO AL INTEMPERISMO
DE UN MATERIAL COMPUESTO BAMBÚ-
PLÁSTICO ELABORADO CON
PARTÍCULAS DE *Guadua angustifolia*
KUNTH Y POLIPROPILENO**

Presentado por:

Ikeda Jhoseli Lora Nieves

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2016

DEDICATORIA

Con cariño y orgullo dedico este trabajo a:

Mi madre Ide Nieves Tolentino por ser ejemplo de superación,

por su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos Shanny y Carlos Silvera por sus consejos

y por acompañar mis horas de redacción,

demostrándome que se puede estudiar y reír al mismo tiempo.

A todas aquellas personas que estuvieron a mi lado.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento

A mi asesor PhD. Héctor Enrique Gonzáles Mora por darme la oportunidad de participar en este proyecto y guiar con gran profesionalismo el desarrollo de la investigación. Le agradezco el tiempo invertido, la paciencia y los consejos impartidos.

A mi coasesor Mg. Sc. Aldo Cárdenas del Centro de Innovación (CITE madera) del Instituto Tecnológico de la Producción (ITP); por acompañar el desarrollo de la tesis con sus consejos y paciencia.

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

A Nelly Cabrera, mi buena y querida amiga, por su cariño, aliento y apoyo en el desarrollo de la tesis.

A Evelyn Roque, Shirley Mormontoy, Jessica Cerrón, Mónica De La Cruz, Jorge Laura y Paolo Alminagorta, amigos de toda la vida por su paciencia y buenos consejos; y a los amigos que conocí Karen Lázaro, Ana Altez, Efraín Suarez, Mariella López y Marco Panduro, por su apoyo en el desarrollo de la tesis.

A Misael Paz de Noboa por su apoyo, ánimos y aliento para la culminación de la tesis.

Al instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) y al Ing. Javier Gagó por su colaboración y consejos.

RESUMEN

La presente investigación trata sobre la evaluación del efecto del intemperismo en las propiedades físicas y mecánicas en muestras de compuestos bambú-plástico (CBP). El compuesto se elaboró con partículas de *Guadua angustifolia*, de malla ASTM 60 y polipropileno virgen, en concentraciones de 30/70 y 50/50 respectivamente, se agregó 2 por ciento de anhídrido maleico de polipropileno como agente acoplante. Las muestras del CBP fueron sometidas a intemperismo por seis meses, en dos distritos de Lima con condiciones climáticas diferentes como, Chosica y La Molina. Colocados en dos ángulos de exposición, 0 y 45 grados. Finalizado el proceso, las muestras fueron evaluadas en las propiedades físicas de contenido de humedad, densidad, absorción e hinchamiento; y propiedades mecánicas de flexión, tensión e impacto. Adicionalmente, se realizaron pruebas de alteración de color y rugosidad superficial. Se encontró que las condiciones climáticas, radiación en Chosica y precipitación en La Molina, afectaron significativamente las características del CBP; variando el color, la rugosidad superficial y disminuyendo las propiedades físico-mecánicas. Respecto al ángulo de exposición, se observó que no tuvo una influencia significativa en la disminución de las propiedades físico-mecánicas del CBP después del intemperismo. Además, la proporción 30/70 fue la que presentó un mejor comportamiento en las propiedades físicas de contenido de humedad, absorción, hinchamiento y densidad; así como en las propiedades mecánicas de flexión y tensión, en comparación con la proporción 50/50.

Palabras clave: Envejecimiento, bambú, polipropileno, decoloración, degradación, condiciones atmosféricas.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. Compuestos plástico madera	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Usos.....	4
2. Métodos de moldeo de los compuestos.....	6
2.1. Proceso de extrusión	6
2.2. Método por compresión.....	7
3. Matriz polimérica	9
4. Fibras naturales como refuerzo	12
4.1. Bambú: Guadua angustifolia Kunth.....	13
4.1.1. Distribución geográfica.....	14
4.1.2. Diferencias entre las partes de la caña	14
4.1.3. Composición anatómica y química	15
4.1.4. Propiedades físico-mecánicas	16
4.1.5. Usos.....	17
4.1.6. Antecedentes como refuerzo en compuestos	17
5. Propiedades de los materiales compuestos.....	18
5.1. Aspecto superficial.....	18
5.1.1. Color.....	18
5.1.2. Rugosidad	19
5.2. Propiedades físico-mecánicas	21
6. Intemperismo	22
6.1. Efecto de las condiciones climáticas de los lugares de exposición.....	23
6.1.1. Condiciones climáticas de los lugares de exposición	24
6.2. Factores que afectan el desempeño del compuesto durante el intemperismo	25
6.2.1. Condiciones de fabricación	25
6.2.2. Proporción de fibras.....	26
6.2.3. Efecto de la radiación.....	26
6.2.4. Efecto de la humedad.....	28
6.2.5. Efecto de la temperatura.....	29
7. Efecto del ángulo de exposición	30
8. Efecto sobre las propiedades del material compuesto.....	31
8.1. Variación de color	31
8.2. Variación de la rugosidad	33
8.3. Propiedades físicas	34
8.4. Propiedades mecánicas	35
III. Materiales y Métodos.....	39
1. Lugar de muestreo	39
2. Lugar de ejecución	39
3. Materiales y equipos	40
3.1. Materia prima.....	40
3.2. Equipos y herramientas	41
4. Métodos y procedimientos	43
4.1. Recolección de muestras de bambú	44
4.2. Acondicionamiento de muestras	44

4.3.	Obtención de partículas.....	45
4.4.	Mezclado y extrusado.....	46
4.5.	Prensado.....	47
4.6.	Enfriado y desmoldado.....	47
4.7.	Dimensionado de las probetas.....	48
4.8.	Ensayo de intemperismo.....	49
4.8.1.	Tamaño de muestra.....	49
4.8.2.	Ángulo de exposición.....	50
4.8.3.	Procedimiento.....	50
4.8.4.	Control de las condiciones climatológicas.....	52
4.9.	Evaluación de las probetas del material compuesto.....	53
4.9.1.	Formulaciones.....	53
4.9.2.	Aspecto superficial.....	53
4.9.3.	Propiedades físicas.....	55
4.9.4.	Propiedades mecánicas.....	56
5.	Diseño experimental y análisis estadístico.....	56
IV.	Resultados y discusión.....	58
1.	Condiciones climáticas.....	58
2.	Aspecto superficial.....	60
2.1.	Variación del color.....	60
2.2.	Rugosidad.....	68
3.	Propiedades físicas.....	73
3.1.	Contenido de humedad y densidad.....	73
3.1.1.	Contenido de humedad.....	75
3.1.2.	Densidad.....	77
3.2.	Absorción e hinchamiento.....	79
3.2.1.	Absorción.....	81
3.2.2.	Hinchamiento.....	84
4.	Propiedades mecánicas.....	87
4.1.	Flexión.....	87
4.2.	Tensión.....	93
4.3.	Impacto.....	100
V.	Conclusiones.....	104
VI.	Recomendaciones.....	105
VII.	Referencias bibliográficas.....	106
VIII.	Anexos.....	115

Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	Propiedades mecánicas de los termoplásticos más comerciales 10
Tabla 2:	Propiedades físicas del Polipropileno 10
Tabla 3:	Propiedades mecánicas del bambú <i>Guadua angustifolia</i> 17
Tabla 4:	Valores de rugosidad para diferentes acabados..... 20
Tabla 5:	Propiedades mecánicas de materiales compuestos con fibras naturales..... 22
Tabla 6:	Irradiancia registrada para Chosica y La Molina 25
Tabla 7:	Porcentajes del total del espectro de radiación UV, visible y radiación IR..... 26
Tabla 8:	Proporciones de mezcla para el compuesto bambú-plástico..... 46
Tabla 9:	Condiciones de trabajo durante el proceso de prensado 47
Tabla 10:	Variables de estudio durante el ensayo de intemperismo en Chosica y La Molina..... 50
Tabla 11:	Fechas de evaluación de condiciones climatológicos durante el intemperismo .. 52
Tabla 12:	Formulaciones 53
Tabla 13:	Diseño experimental de los tratamientos utilizados para el análisis estadístico de las propiedades físico-mecánicas. 57
Tabla 14:	Resultados promedio y desviaciones estándar de las variaciones de color del compuesto bambú-plástico..... 60
Tabla 15:	Valores del análisis de variancia de los resultados de color del compuesto bambú-plástico 61
Tabla 16:	Valores de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para la propiedad físicas de contenido de humedad 61
Tabla 17:	Dados promedio y desviaciones estándar de las variaciones de color y rugosidad del compuesto bambú-plástico 68
Tabla 18:	Valores del análisis de variancia de los resultados de color y rugosidad del compuesto bambú-plástico..... 69
Tabla 19:	de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para las propiedades físicas de contenido de humedad, densidad, absorción e hinchamiento 69
Tabla 20:	Resultados promedio y desviaciones estándar de las variaciones de los ensayos de las propiedades físicas de contenido de humedad 74
Tabla 21:	Valores del análisis de variancia de los resultados de los ensayos de las propiedades físicas de contenido de humedad, densidad 74
Tabla 22:	Valores de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para las propiedades físicas de contenido de humedad, densidad 75

Tabla 23:	Resultados promedio y desviaciones estándar de las variaciones de los ensayos de las propiedades físicas de absorción e hinchamiento	80
Tabla 24:	Valores del análisis de variancia de los resultados de los ensayos de las propiedades físicas de absorción e hinchamiento.....	80
Tabla 25:	Valores de comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para las propiedades físicas de absorción e hinchamiento	81
Tabla 26:	Resultados promedio y desviaciones estándar del ensayo de flexión.....	87
Tabla 27:	Valores del análisis de variancia de los resultados del ensayo de flexión.....	87
Tabla 28:	Valores de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para la propiedad mecánica de flexión.....	88
Tabla 29:	Resultados promedio y desviaciones estándar de los ensayos de la propiedad mecánica de tensión	94
Tabla 30:	Valores del análisis de variancia de los resultados de los ensayos de la propiedad de tensión.....	94
Tabla 31:	Valores de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para la propiedad mecánica de tensión.....	95
Tabla 32:	Resultados promedio y desviaciones de los ensayos de la propiedad mecánica de impacto	100
Tabla 33:	Valores del análisis de variancia de los resultados de los ensayos de las propiedad mecánica de impacto.....	100
Tabla 34:	Valores de comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para la propiedad mecánica de impacto.	101

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Usos de los WPC.....	5
Figura 2: Partes de una extrusora de tornillo simple y etapas del proceso de extrusión.....	7
Figura 3: Partes de una prensa caliente y las etapas del proceso de compresión.....	8
Figura 4: Unión interfacial entre la fibra, agente acoplante y matriz.....	11
Figura 5: Fibras naturales generalmente usadas como refuerzo en materiales compuestos.....	13
Figura 6: Distribución geográfica y taxonómica de los géneros de bambú en el Perú.....	14
Figura 7: Partes de la planta de bambú: 1) rizoma; 2) hojas caulinares; 3) brotes; 4) parte basal; 5) parte inferior; 6) parte media; 7) parte apical; 8) pedúnculos.....	15
Figura 8: Distribución de las fibras en el culmo de la guadua.....	16
Figura 9: Atributos del color.....	19
Figura 10: Vista ampliada de una superficie.....	20
Figura 11: Fotodegradación por los rayos UV, de un compuesto fibra/polímero.....	27
Figura 12: Esquema del daño de la humedad en el WPC.....	29
Figura 13: Ángulos de inclinación para materiales expuestos a la intemperie.....	30
Figura 14: Lugares de ubicación del ensayo de intemperismo.....	40
Figura 15: Diagrama de flujo de la metodología a seguir para la obtención del material compuesto bambú-plástico.....	43
Figura 16: Recolección y acondicionamiento para el transporte de cañas de <i>Guadua angustifolia</i>	44
Figura 17: Obtención de secciones de cañas de guadua.....	45
Figura 18: Secciones de caña de guadua apiladas en el horno de secado.....	45
Figura 19: Obtención del material extrusado.....	46
Figura 20: Proceso de obtención de tableros del compuesto bambú-plástico.....	48
Figura 21: Muestras del compuesto bambú-plástico.....	49
Figura 22: Ángulo de inclinación de las mesas, para la exposición a la intemperie de las muestras del compuesto bambú-plástico.....	50
Figura 23: Acondicionamiento de mesas y caballetes para el ensayo de intemperismo.....	51
Figura 24: Colocación y adhesión de las muestras del compuesto bambú sobre las mallas de plástico.....	51
Figura 25: Probeta para ensayos físicos: zona marcada para la medición de color.....	54
Figura 26: Rugosidad del compuesto bambú-plástico.....	55

Figura 27:	Condiciones climáticas de Chosica durante el periodo de intemperismo	58
Figura 28:	Condiciones climáticas de La Molina durante el intemperismo	59
Figura 29:	Variación del color de las muestras del compuesto bambú-durante el intemperismo	63
Figura 30:	Variación de color en las muestras del compuesto bambú-plástico	63
Figura 31:	Valores de L* del compuesto bambú-plástico durante el intemperismo	64
Figura 32:	Variación del color de las muestras del compuesto bambú-plástico al final del intemperismo.	65
Figura 33:	superficie de las muestras del compuesto bambú/plástico después del intemperismo.	67
Figura 34:	Valores de rugosidad Ra en μm , de la superficie del compuesto expuesto a intemperismo en Chosica.	71
Figura 35:	Valores de rugosidad Ra en μm , de la superficie del compuesto expuesto a intemperismo en La Molina.	71
Figura 36:	Superficie del compuesto bambú-plástico, erosionada y con grietas, después del intemperismo:	73
Figura 37:	Figura. Contenido de humedad del compuesto bambú-plástico luego de seis meses de intemperismo	76
Figura 38:	Densidad del compuesto bambú-plástico luego de seis meses de intemperismo en Chosica y La Molina.	78
Figura 39:	Absorción a las 2 y 24 horas de sumergido, del compuesto bambú-plástico luego del intemperismo en Chosica (CH) y La Molina (LM)	82
Figura 40:	Espacios entre las fibras y la matriz en el compuesto bambú-plástico después de 182 días de intemperismo: a) proporción 50/50 y b) proporción 30/70.	83
Figura 41:	Hinchamiento las 2 y 24 horas de sumergido, del compuesto bambú-plástico luego del intemperismo en Chosica (CH) y La Molina (LM)	85
Figura 42:	Resistencia máxima en flexión del compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo.	89
Figura 43:	Probetas de flexión: a) antes del intemperismo; b) después de 6 meses de intemperismo	90
Figura 44:	Variación del Módulo de elasticidad en flexión del compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo en Chosica y La Molina.	92
Figura 45:	Variación de la resistencia máxima en tensión del compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo en Chosica y La Molina.	96
Figura 46:	Probeta de tensión: a) antes del intemperismo; b) después de 6 meses de intemperismo	97
Figura 47:	Módulo de elasticidad en tensión del compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo en Chosica y La Molina.	98

Figura 48:	Resistencia al impacto compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo en Chosica y La Molina.	102
Figura 49:	Probetas de impacto: a) antes del intemperismo; b) después de 6 meses de intemperismo	103

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Datos de los parámetros climáticos en chosica y la molina durante el ensayo de intemperismo	115
Anexo 2 Datos para la determinación de la variación de color en Chosica (ch) durante el intemperismo	116
Anexo 3 Datos para la determinación de la variación de color en la molina (lm) durante el intemperismo	122
Anexo 4 Datos para la determinación de la rugosidad durante el intemperismo en chosica y la molina	128
Anexo 5 Datos para la determinación del contenido de humedad y densidad después del intemperismo en chosica y la molina.....	130
Anexo 6 Datos para la determinación de la absorción e hinchamiento después del intemperismo en Chosica y La Molina.....	134
Anexo 7 Datos para determinar el ensayo de Flexión	139
Anexo 8 Datos para determinar el ensayo de Tensión	140
Anexo 9 Datos para determinar el ensayo de Impacto después del intemperismo en Chosica y La Molina	141
Anexo 10 Análisis estadístico del cambio de la variación de color después del intemperismo	146
Anexo 11 Análisis estadístico de la rugosidad después del intemperismo	146
Anexo 12 Análisis estadístico del contenido de humedad después del intemperismo	147
Anexo 13 Análisis estadístico de la densidad después del intemperismo.....	147
Anexo 14 Análisis estadístico de la absorción a las 24 horas después del intemperismo	148
Anexo 15 Análisis estadístico del hinchamiento a las 24 horas después del intemperismo	148
Anexo 16 Análisis estadístico de la resistencia máxima en tensión después del intemperismo	149
Anexo 17 Análisis estadístico del módulo de elasticidad en tensión después del intemperismo	149
Anexo 18 Análisis estadístico de la resistencia máxima a la flexión después del intemperismo	150
Anexo 19 Análisis estadístico del módulo de elasticidad en flexión después del intemperismo	150
Anexo 20 Análisis estadístico del impacto después del intemperismo.....	151

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos forestales son considerados como una de las mayores fuentes de impacto ambiental debido a esto, en los últimos años se han buscado diferentes usos industriales (Bouza 2008). Esta situación sumada a la necesidad de encontrar nuevos materiales que abaraten costos, presenten buenas propiedades en usos exteriores e interiores, y que sean amigables con el medio ambiente, dan lugar al uso de fibras naturales como refuerzo de materiales plásticos. Ese es el caso de los materiales compuestos madera-plástico (WPC por sus siglas en inglés, *Wood Plastic Composite*). Los cuales en la actualidad presentan una producción mundial estimada de 1,5 millones de toneladas anuales, donde los mercados más destacados se encuentran en Estados Unidos, Japón, China y países europeos (Equipo editorial de Tecnología del Plástico 2012).

Los materiales compuestos presentan muchas posibilidades de utilizar fibras naturales en su composición, entre las que se puede encontrar a la *Guadua angustifolia*, la cual se considera que tiene las mejores propiedades físico-mecánicas del mundo entre bambúes y una durabilidad extraordinaria, además de ser un recurso renovable y de rápido crecimiento que puede cosecharse cada cuatro o seis años (López y Silva 2000). En el Perú existen plantaciones (*G. angustifolia*) en Piura, Tumbes, Cajamarca y Lambayeque con una superficie aproximada de 4000 ha (Sierra exportadora 2012). El lugar más representativo se encuentra en las plantaciones de la Florida-Cajamarca, donde todavía no se ha determinado la superficie y volumen potencial de extracción (Malleux 2009). Además, experiencias en otros países demuestran que las fibras de *G. angustifolia* tienen el potencial para ser uno de los mejores refuerzos naturales de materiales compuestos (Estrada 2010).

La decisión sobre el empleo de un material para una determinada aplicación, generalmente se toma teniendo en cuenta sólo las propiedades del material recién elaborado, lo cual genera en muchos casos inadecuados usos. Esta situación hace necesario conocer las propiedades físico-mecánicas a lo largo del tiempo, para analizar las variaciones que se presenten como influencia de las condiciones de utilización y condiciones meteorológicas del lugar de uso del material (Fuentes *et al.* 2014).

Los principales usos de los materiales compuestos se dan en muelles, enchapes exteriores, terrazas y otras superficies cerca de piscinas o en centros de recreación, así como en encofrados, barandas, pisos y elementos de decoración (Rahal y Sleiman 2013). El interés en el uso al aire libre nace a partir de las ventajas que presentan estos compuestos: mayor resistencia a la humedad del ambiente, a la incidencia de los insectos y bajo nivel de mantenimiento. Sin embargo, estos materiales sí presentan un grado de deterioro por efecto del intemperismo, donde sus propiedades físico-mecánicas cambian debido a la influencia de las condiciones ambientales a las que fueron expuestas (Fuentes *et al.* 2014).

En los materiales compuestos se debe tener cuenta que no van a presentar una superficie definida ni adecuadas propiedades físico-mecánicas de por vida, las condiciones que los rodeen van a afectar en diferentes niveles la calidad del compuesto. Los WPC al igual que la madera sólida, son susceptibles a la fotodegradación de la superficie expuesta; si bien son menos vulnerables a los ciclos de humedad que se presentan en el ambiente, ocurre lo contrario con relación a la radiación UV y la temperatura que afectan las propiedades del producto (Majewski y Błędzki 2013; Williams 2010).

La evaluación del deterioro de los materiales compuestos expuestos al aire libre es necesaria, debido a que va a afectar directamente su desempeño en el uso que se le dará. En las pruebas de intemperismo las muestras son sujetadas sobre bastidores y se exponen a las condiciones ambientales naturales durante un tiempo determinado, orientados de modo que las muestras reciban directamente la radiación UV, ya que es el factor que favorece la fotodegradación. De esta forma, se prueba el material directamente en el lugar de desempeño final o en lugares con condiciones ambientales similares (ASTM D1435 2015).

Yang *et al.* (2015) hace referencia que el WPC es un material emergente que se ha aplicado ampliamente en usos al aire libre. Sin embargo, su comportamiento de degradación a largo plazo bajo un clima subtropical no ha sido completamente caracterizado. Por ello en el siguiente estudio se hace una caracterización del compuesto bambú-plástico bajo el efecto del intemperismo sobre las propiedades físico-mecánicas de un compuesto a base de partículas de la parte apical de la *Guadua angustifolia* Kunth y polipropileno, teniendo en cuenta la influencia de dos ángulos de inclinación (45 ° y 0 °) y dos lugares de exposición en Lima, con condiciones ambientales diferentes, en radiación UV, temperatura y humedad relativa, durante seis meses de intemperismo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. COMPUESTOS PLÁSTICO MADERA

1.1. ANTECEDENTES

Los materiales compuestos son usados desde hace décadas en el mundo. A partir de 1983, en América se observa un incremento en el uso de WPC, en Estados Unidos se comenzó a producir revestimientos interiores de automóviles, utilizando una mezcla de polipropileno con 50 por ciento harina de madera, este uso es considerado una de las primeras grandes aplicaciones tecnológicas de estos productos. Sin embargo, recién a principios de los 90's se incrementa la producción de WPC, utilizando polietileno con fibras de madera para revestimientos y construcción. Estos primeros usos hacen que hoy en día el mercado de cubiertas con WPC sea grande y tenga índices altos de crecimiento (Caulfield *et al.* 2005).

Los materiales compuestos presentan dos componentes: un material lignocelulósico llamado refuerzo y un material de base llamado matriz, en la que se incrustan las fibras o partículas (Hidalgo 2003). En el caso de los WPC (por sus siglas en inglés, *Wood Plastic Composite*), la matriz es polimérica y las fibras son lignocelulósicas, estas son moldeadas mediante procesos de extrusión, compresión o inyección y en ocasiones se les agrega aditivos, como agentes acoplantes, pigmentos, estabilizadores UV o agentes anti microbiales, por ello este material puede considerarse como un valor añadido de la madera (Klyosov 2007).

Las ventajas de este compuesto respecto a los plásticos convencionales son sus bajos costos y bajo mantenimiento, así como presentar un aspecto natural, una agradable sensación al tacto y mejores propiedades mecánicas. Las ventajas con respecto a la madera sólida son su mejor disposición al moldeo y una mejor resistencia a la intemperie debido a que el plástico genera barreras contra la humedad (Wolcott y Englund 1999).

La estabilidad dimensional en el ambiente, la cual es mayor en los WPC que en la madera, es muy importante; por ello la expansión de mercados para WPC se enfocó principalmente en el uso para exteriores (Fabiyyi 2010). Al año 2007, el equipo editorial de Tecnología del Plástico (2008), indicaba que la demanda en el mercado mundial de los WPC estaba alrededor de 900 000 toneladas de las cuales Norteamérica representaba el 77 por ciento,

Europa 12 por ciento, Asia 8 por ciento y América Latina, Medio Oriente y el sur de África representaban el 3 por ciento.

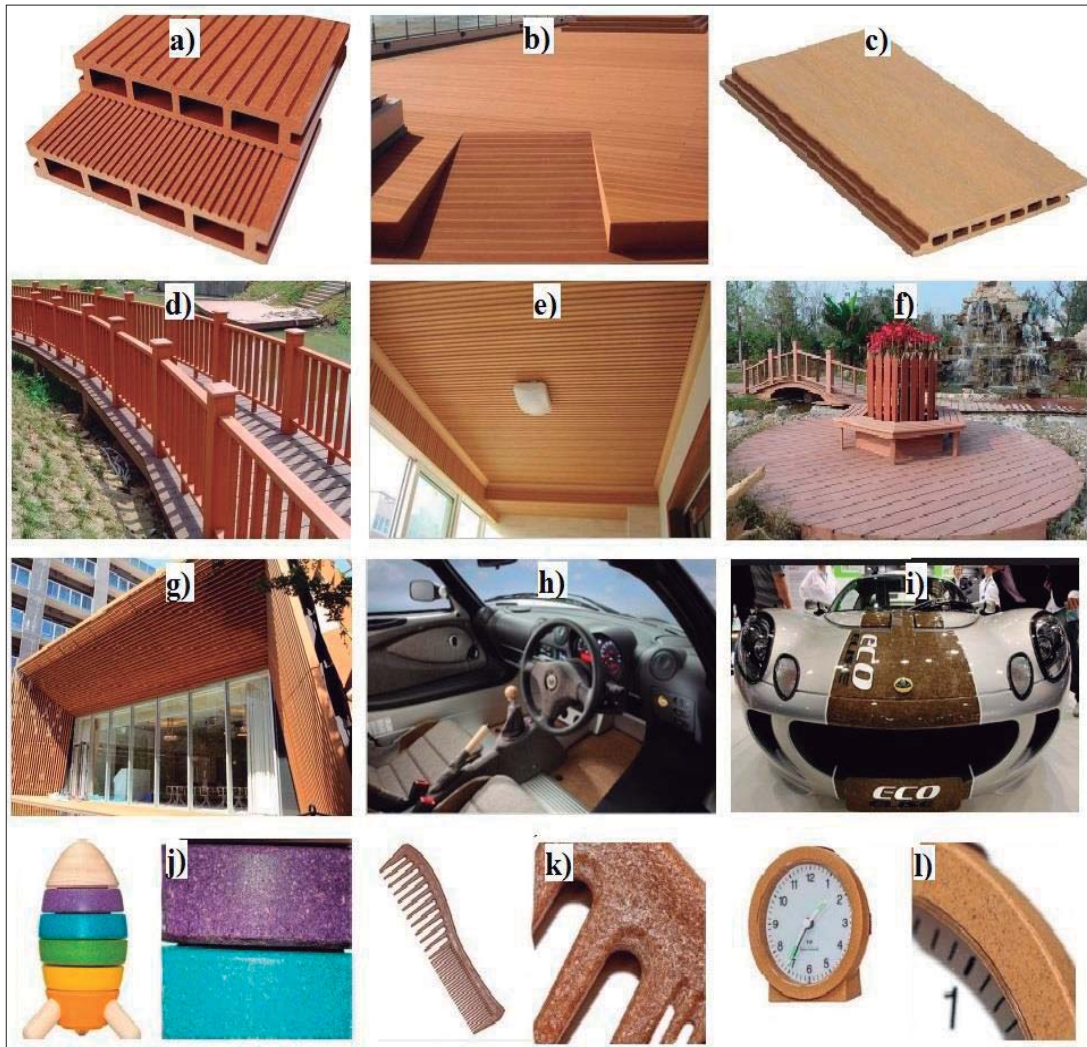
Desde hace unos años, el país con mayor producción de WPC es Estados Unidos con empresas como Louisiana Pacific Polymers y Trex, en donde la principal aplicación son los recubrimientos de superficie que se encuentran a la intemperie. En América Latina también existen empresas dedicadas a la producción de WPC como, la empresa colombiana Woodpecker S.A.S, las mexicanas Entabla, Koa, Budemheim y la brasileña WPC Brasil. Finalmente, en Europa se ha venido investigando y desarrollando compuestos maderaplástico que disminuyan costos, siendo una posibilidad el uso de desperdicios de madera con plástico reciclado. (Rahal y Sleiman 2013). Actualmente, cerca de 400 000 toneladas de WPC y compuestos con fibras naturales son producidas en Europa cada año, los mercados más importantes son los decking, automotriz y bienes de consumo (Partanen y Carus 2016).

A pesar de que, hasta hace unos años los compuestos con fibras naturales no eran tan rentables como sus equivalentes sintéticos, por las diferencias en los costos de elaboración, se veían signos de ser en un futuro la elección más ambientalmente responsable y también la más económica (Dittenber y GangaRao 2012). Actualmente, el mercado del uso de fibras naturales como refuerzo en WPC, se ha incrementado notablemente, debido a una gran cantidad de nuevos actores como, una mayor capacidad de producción, mejor calidad, menores precios de mercado y una baja huella ambiental por el uso cada vez menor de plástico (Partanen y Carus 2016).

1.2. USOS

Los WPC son usados principalmente al aire libre debido a una mayor resistencia a la humedad, a los insectos y a un bajo nivel de mantenimiento (Rahal y Sleiman 2013). Desde hace unos años, los usos eran generalmente desde enchapes para exteriores, terrazas, paseos de jardín, bordes de piscinas, mesas de picnic, perfiles de ventana, componentes de puertas, portones, barandillas, mobiliarios, muelles, elementos de decoración, hasta pisos (Caulfield *et al.* 2005; Majewski y Błędzki 2013; Tecnología del plástico 2012). Actualmente, estos usos incluyen relojería, juguetes, peines, bandejas, entre otros, también llamados bienes de consumo. La apariencia única y el tacto agradable del WPC dan la impresión de ser productos de alto valor y son bien recibidos por los clientes, ver Figura 1 (Partanen y Carus 2016).

En la industria automotriz, el WPC ha desplazado a los plásticos reforzados con fibra de vidrio en la producción de algunas piezas como paneles interiores de puertas, espaldares de asientos, guardafangos entre otros. Sobre todo, como componentes de peso ligero para los interiores de automóviles, ver Figura 1 (Rahal y Sleiman 2013; Partanen y Carus 2016).



a) Piso entablado hueco, b) terrazas al aire libre, c) piso interior, d) barandillas, e) techos decorativos, f) jardinería, g) techos; usos de composites con fibras naturales: h) interior y i) exterior de cáñamo de un automóvil; j) juguete, k) peine y l) reloj a base de partículas de caucho.

Figura 1: Usos de los WPC.

FUENTE: Powertech Machine 2014; Dai y Fan 2014; Partanen y Carus 2016.

2. MÉTODOS DE MOLDEO DE LOS COMPUESTOS

El procesamiento de materiales compuestos de fibras de madera tiene una crucial influencia sobre las propiedades del producto final. Generalmente, la selección de la técnica de moldeo es basado en la matriz, la forma de alimentación de la materia prima y costos (Dai y Fan 2014). Así como del tipo de fibra natural usada, ya que el moldeo de los compuestos a base de fibras naturales presenta dificultades por la manipulación, comportamiento higroscópico y baja resistencia a altas temperaturas de las fibras (Leong *et al.* 2014).

Los tres métodos más comunes en la elaboración de WPC, debido a su alta precisión y tiempos de ciclo más rápido, son: extrusión del compuesto fundido a través de un troquel, inyección del compuesto fundido en un molde tridimensional, y compresión del compuesto fundido entre dos platos (Leong *et al.* 2014; Stark y Matuana 2007).

Satyanarayana *et al.* (2009) indica que el método utilizado generalmente en la fabricación de compuestos reforzados con fibras naturales, es el moldeo por compresión o también llamado presión en caliente; por ser superior en términos de rendimiento mecánico en comparación con productos moldeados por inyección. Esta situación se debería a que en el moldeo por compresión es posible incorporar fibras de refuerzo largas o continuas, mientras que el moldeo por inyección solo puede contener fibras cortas (Leong *et al.* 2014).

En la presente investigación el método utilizado para la fabricación del compuesto bambú-plástico fue la compresión, con un mezclado previo por extrusión.

2.1. PROCESO DE EXTRUSIÓN

Ku (2011) indica que para un moldeo más uniforme del material compuesto se debe realizar un proceso de extrusión antes del proceso de moldeo (compresión o inyección). De esta forma se asegura la unión de los elementos reforzantes y posteriormente se recomienda un proceso que permita obtener un material con buena consistencia. Antes del proceso de moldeo es necesario realizar un pelletizado del material extruido, de esta forma se busca obtener un nuevo compuesto con una mejor distribución del refuerzo (Cobos 2012).

El método de extrusión es el proceso en el cual se alimenta un cañón con la mezcla de plástico y fibras o partículas, a condiciones de temperatura elevada. El material fundido es forzado a atravesar una boquilla para generar un producto de sección transversal constante y, en principio, de longitud indefinida (Beltrán y Marcilla 2012). La combinación por

extrusión emplea un tornillo sin fin como mecanismo de transporte, debido a la capacidad de la geometría de tornillo, para llevar a cabo todos los pasos elementales de procesamiento: la alimentación, bombeo, fusión y mezcla, ver Figura 2 (Fu *et al.* 2009).

En el proceso de extrusión, el material polimérico en el compuesto funde gradualmente a medida que viaja a lo largo del cañón, desde su extremo de alimentación hasta el otro extremo debido al calor generado por la fricción entre los propios materiales compuestos. Además, la presión hacia adelante es suficiente para conducir el material fundido hacia el orificio de salida de la boquilla, por el cual el material extruido puede tener varias formas, según lo deseado (Fu *et al.* 2009).

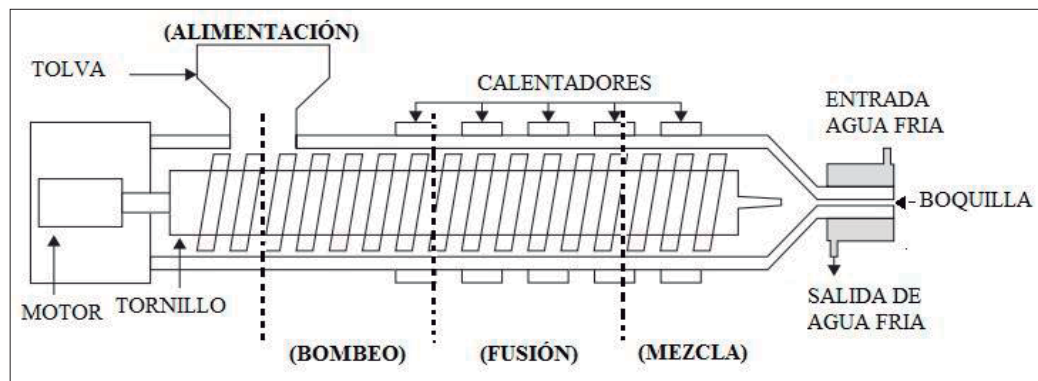


Figura 2: Partes de una extrusora de tornillo simple y las etapas del proceso de extrusión.

FUENTE: Adaptado de Fu *et al.* (2009); Dai y Fan (2014).

Las principales ventajas de la extrusión incluyen homogeneidad de la masa fundida y la relativa facilidad de control de la temperatura de la masa. Por otra parte, una de las deficiencias en la producción de pellets de material compuesto es la reducción de la longitud de fibras (Fu *et al.* 2009). Sin embargo, con una combinación adecuada de las variables del proceso como la velocidad y configuración del tornillo, y la temperatura del cilindro, se limita la degradación térmica y el oscurecimiento de las fibras o partículas utilizadas en la carga (Dai y Fan 2014).

2.2. MÉTODO POR COMPRESIÓN

El moldeo por compresión es el método más generalizado en el mundo y también el más antiguo. El procedimiento consiste en ingresar la mezcla en un molde que será comprimido por una carga dentro de una prensa, con una temperatura y presión designada, y que deben ser controladas teniendo en cuenta las temperaturas de fusión del termoplástico y las fibras

lignocelulósicas usadas (Lucana 2008). El dispositivo de moldeo utilizado, es una prensa similar a un banco con calor; por ello es llamada prensa caliente, ver Figura 3 (Tatara 2011).

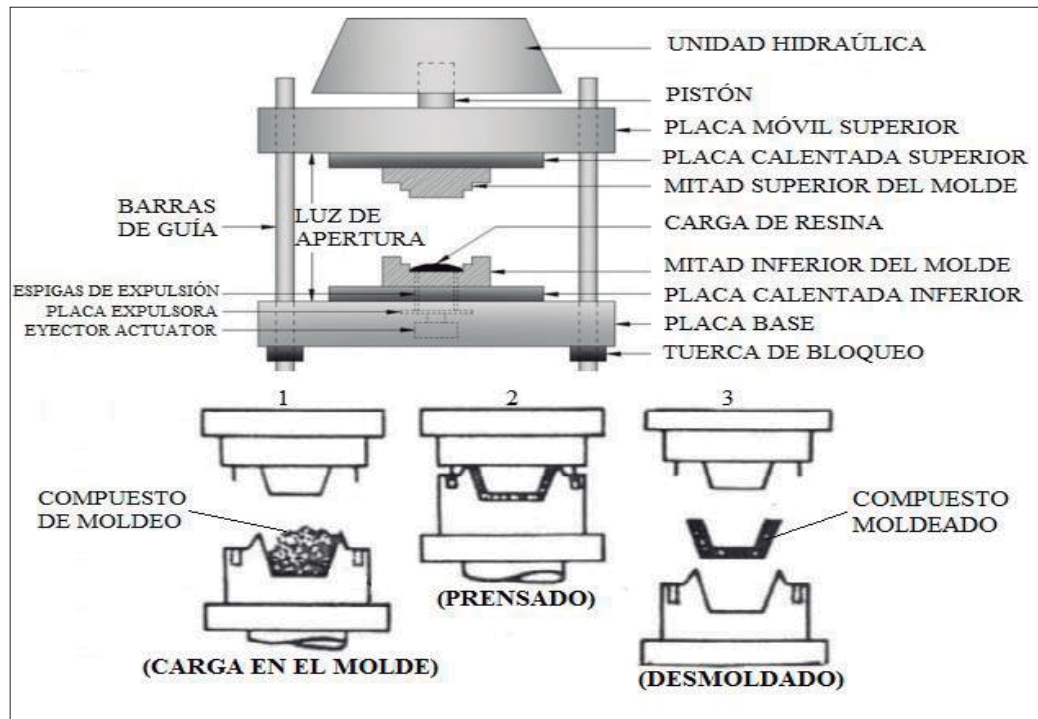


Figura 3: Partes de una prensa caliente y las etapas del proceso de compresión.

FUENTE: Adaptado de Tatara (2001) y Rosato et al. (2004).

El pre calentamiento de los platos de la prensa a una cierta temperatura, es un paso importante para fundir el termoplástico y evitar su flujo desigual. El pre calentamiento es seguido por la compresión de la mezcla a una cierta presión para permitir que la resina se funda entre las fibras. El equilibrio entre la temperatura, presión y tiempo de moldeo durante la etapa de compresión es esencial para optimizar la impregnación de la resina en las fibras al tiempo que se reduce la degradación térmica tanto de la fibra como de la resina (Leong *et al.* 2014).

Conforme el molde va cerrándose, la mezcla es obligada a ocupar todas las partes de la cavidad de moldeo. En ciertos casos, es ventajoso realizar el moldeo con la apertura de los platos cada cierto tiempo. De esta forma se deja “respirar” al material, permitiendo la evacuación del gas que queda atrapado entre la mezcla o el que es generado en la reacción de polimerización (Beltrán y Marcilla 2012).

Luego que el compuesto es moldeado se necesita que la pieza esté completamente solidificada para ser retirada de la prensa sin que presente problemas, por lo que se necesita un sistema de refrigeración o en otros casos secado al ambiente (Rojas 2003). El molde puede ser enfriado por medio de un flujo de agua fría, mientras que se mantiene la presión sobre el compuesto. Una vez que el compuesto moldeado se ha enfriado y solidificado lo suficiente, se desmolda y el exceso de resina en los lados de las piezas moldeadas, se puede eliminar mediante pulido o recorte (Leong *et al.* 2014).

Las ventajas del método por compresión son que: el material no sufre grandes deformaciones al moldearse, no se modifican mecánica ni físicamente las fibras lignocelulósicas usadas ya que la mezcla no entra al molde de manera forzada y se pueden efectuar elementos de grandes dimensiones (Moscoso 2007). Tiene la capacidad de usar cualquier forma de fibras naturales como refuerzo de los termoplásticos (Leong *et al.* 2014). Además, este proceso disminuye el desperdicio de material y mediante la automatización se puede disminuir los tiempos de ciclo de moldeo (Beltrán y Marcilla 2012).

Sin embargo, también presenta desventajas; no es aconsejable para figuras con formas complejas por la mala distribución del material y el requerimiento de elevadas presiones (Beltrán y Marcilla 2012). Así mismo, Leong *et al.* (2014) indica que, cualquier nivel de humedad residual en las fibras se evaporará durante el moldeo formándose burbujas y huecos dentro de los materiales compuestos, mientras que en algunos casos aparecerían ampollas en la superficie de las piezas.

3. MATRIZ POLIMÉRICA

Entre los polímeros usados cotidianamente existen dos clases principales, los termoestables y los termoplásticos, diferenciándose principalmente en su respuesta a la temperatura. Los polímeros termoestables se polimerizan e incrementan de rigidez con un aumento de la temperatura inicial. En contraste, los termoplásticos se pueden ablandar y fundir repetidamente con los incrementos de temperatura (Wolcott y Englund 1999). Por ello, son adecuados en la elaboración de compuestos debido a que durante las reacciones de polimerización colocan sus unidades estructurales en cadenas lineales de amplia dispersión sufriendo cambios con la aplicación de calor y estabilizándose al enfriarlos (Aguilar 2008).

Se cree que los termoplásticos de baja viscosidad son una opción preferible ya que pueden impregnar fácilmente a las fibras naturales y no causan ningún daño térmico (Leong *et al.* 2014). Generalmente, los WPC utilizan como matriz polimérica: polietileno (PE), polipropileno (PP) o cloruro de polivinilo (PVC) (Partanen y Carus 2016); debido a que pueden ser procesados a temperaturas menores de 200 grados centígrados, que es la temperatura límite de estabilidad de la madera y fibras naturales (Klyosov 2007; Wolcott y Englund 1999; Leong *et al.* 2014).

El PP es un termoplástico semi-cristalino que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador específico. El PP, en comparación al PE, es más ligero, fuerte, rígido, presenta menos desgaste y una mejor resistencia a la deformación, ver Tabla 1 (Vallejos 2006). Además, el PP presenta buenas propiedades físicas, ver Tabla 2, tiene múltiples aplicaciones y es considerado un termoplástico de mayor desarrollo en el futuro ya que en los últimos años se ha visto un incremento en su producción mundial (Hidalgo 2003).

Tabla 1: Propiedades mecánicas de los termoplásticos más comerciales.

<i>Propiedades mecánicas</i>	<i>PP</i>	<i>PE</i>
<i>Módulo de tensión (Gpa)</i>	1,3	0,2
<i>Resistencia a la tensión (Mpa)</i>	22	11
<i>Módulo de flexión (Gpa)</i>	1,5	0,3
<i>resistencia a la flexión (Mpa)</i>	40	17
<i>Impacto sin muesca (kJ/m2)</i>	NB	NB

FUENTE: Leong *et al.* (2014).

Tabla 2: Propiedades físicas del Polipropileno.

<i>PROPIEDAD</i>	<i>VALOR</i>
<i>Densidad (g/cm3)</i>	0,899-0,92 (*)
<i>Absorción de agua a 24h (%)</i>	0,01-0,03
<i>Temperatura de servicio (°C)</i>	Máx. 140 y min -30

FUENTE: Estrada (2010), * Ku (2011).

En el WPC, el componente lignocelulósico con el termoplástico presentan diferentes características que muchas veces no favorecen la compatibilidad entre ellos (Aguilar 2008). Al respecto, Dittenber y GangaRao (2012) mencionan que, lo ideal es que los grupos hidroxilo de la matriz polimérica se enlacen con los grupos hidroxilo que están disponibles en todas las fibras naturales, creando así enlaces de hidrógeno. Sin embargo, la fuerza de los enlaces entre la matriz y las fibras es muy baja; esto se debe generalmente a la presencia de humedad mientras se realiza el moldeo del compuesto. Las moléculas de agua se unen con los grupos hidroxilo disponibles en la superficie de la fibra, disminuyendo las conexiones disponibles para la unión con la matriz. Para mejorar la adhesión se debe buscar la mayor fluidez del polímero, incrementando el contacto con la superficie irregular de la fibra, la cuales deben mantener su superficie libre de sustancias como polvo, tierra y residuos externos (Cauldfield *et al.* 2005).

El agente acoplante más utilizado es el anhídrido maléico más conocido como MAPP para el polipropileno y MAPE para el polietileno (Qiu *et al.* 2005). En la investigación realizada por Cárdenas (2012) se utilizó como agente acoplante el MAPP, para favorecer la unión entre el polipropileno y las partículas de madera, el cual entra en acción primero haciendo reaccionar el anhídrido con los grupos hidroxilos de las partículas lignocelulósicas, formando enlaces éster y luego el polipropileno se une al anhídrido maléico insertándolo en su cadena principal (Figura 4).

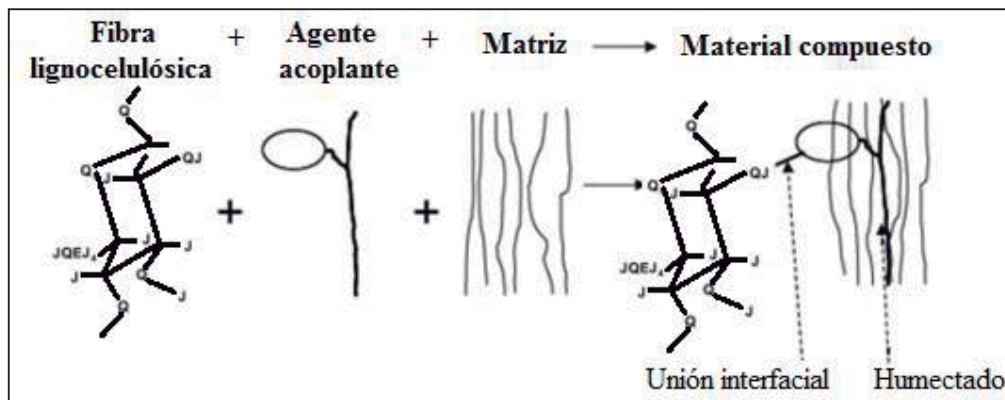


Figura 4: Unión interfacial entre la fibra, agente acoplante y matriz.

FUENTE: Yang *et al.* (2007).

4. FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO

Las fibras naturales son materiales lignocelulósicos, debido a sus principales constituyentes: celulosa, hemicelulosa y lignina, las cuales son responsables del comportamiento de las fibras. Por ejemplo, la celulosa favorece la fuerza de las fibras, mientras que la hemicelulosa es susceptible a la degradación térmica, biológica y absorbe humedad, y la lignina es susceptible a la degradación ultravioleta (Azwa *et al.* 2013).

Las fibras se pueden agrupar, dependiendo del origen, en fibras de: hojas, corteza, semillas y frutas (Mohanty *et al.* 2000). Además, pueden ser obtenidas mediante procesos químicos, mecánicos, biológicos y procesos combinados; debido a estos procesos, al origen y a las condiciones de crecimiento, la fuerza de las fibras puede variar considerablemente, siendo uno de los principales inconvenientes para los productos naturales (Dai y Fan 2014). En consecuencia, las fibras naturales por si solas presentan retos que impiden su avance como componentes estructurales primarios (Dittenber y GangaRao 2012).

Las aplicaciones más comunes para fibras naturales están generalmente limitadas a interiores y usos no estructurales debido a sus bajas propiedades mecánicas y la pobre resistencia a la humedad. Sin embargo, estas condiciones tienen un amplio margen de mejora mediante el uso de tratamientos superficiales innovadores, resinas, aditivos y recubrimientos (Dittenber y GangaRao 2012). En la búsqueda de la expansión de las aplicaciones de las fibras naturales, se encuentra en continuo desarrollo el uso de estas fibras como refuerzo en materiales compuestos (Azwa *et al.* 2013).

Para reducir cualquier destrucción nociva en el ambiente y producir materiales compuestos poliméricos reforzados de bajo costo, los investigadores están trabajando en la fabricación de materiales compuestos usando fibras naturales, las cuales son totalmente biodegradables (Khalil *et al.* 2015). En consecuencia, las fibras naturales no maderables más estudiadas como refuerzo, se presentan en la Figura 5. Siendo los principales contendientes: el cáñamo, lino y bambú, de los cuales el bambú es cada vez más y más encontrado en materiales compuestos para bienes de consumo (Partanen y Carus 2016).

El uso del bambú como refuerzo de materiales compuestos se ha incrementado enormemente en los últimos años. El costo, la disponibilidad, el peso ligero, la alta resistencia específica y la naturaleza no peligrosa de las fibras del bambú son sus

propiedades más atractivas, alentando a los investigadores en tecnología de compuestos para trabajar en su desarrollo (Khalil *et al.* 2015).

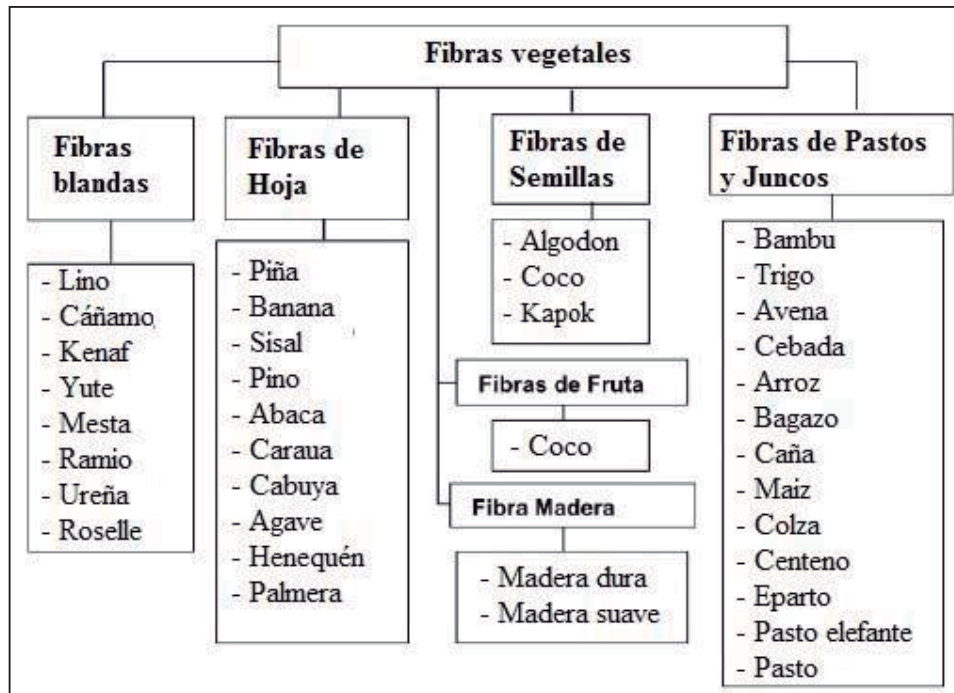


Figura 5: Fibras naturales generalmente usadas como refuerzo en materiales compuestos.

FUENTE: Kozlowski y Wladyka- Przybylak (2004).

4.1. BAMBÚ: GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH

El bambú es conocido generalmente por la especie *Bambusa vulgaris var vittata*, sin embargo, en el mundo existen alrededor de 1040 especies. En América tropical, la guadua es el género de bambú nativo de mayor importancia con aproximadamente 32 especies, y la que más sobresale es la *Guadua angustifolia* (Cruz 2009).

La *G. angustifolia* es una monocotiledónea de rápido crecimiento, cuando el culmo tiene un diámetro de más de 10 cm alcanza su altura definitiva y a partir de ahí presenta incrementos hasta de 21 cm/día, alcanzando la madurez entre los cuatro y seis años de edad (Cruz 2009). En la Florida, Cajamarca, se pueden encontrar culmos de *Guadua angustifolia* con una altura promedio de 16,6 m y dap 9,4 cm (Bustamante 2014). Teniendo en cuenta la altura comercial de 10,9 m, se deja una diferencia de seis metros que correspondería a la parte apical del culmo, ver Figura 7, estos residuos se usarán en la presente investigación.

4.1.1. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

El género *Guadua* crece en toda América latina, desde San Ángel en México hasta el sur de Argentina, exceptuando Chile y las Islas del Caribe, también han sido introducidas en países asiáticos (Cruz 2009). En el Perú se puede observar una distribución del género *Guadua* como se muestra en la Figura 6, y la especie *Guadua angustifolia* Kunth puede ser encontrada en el departamento de Cajamarca, Piura y Lambayeque.

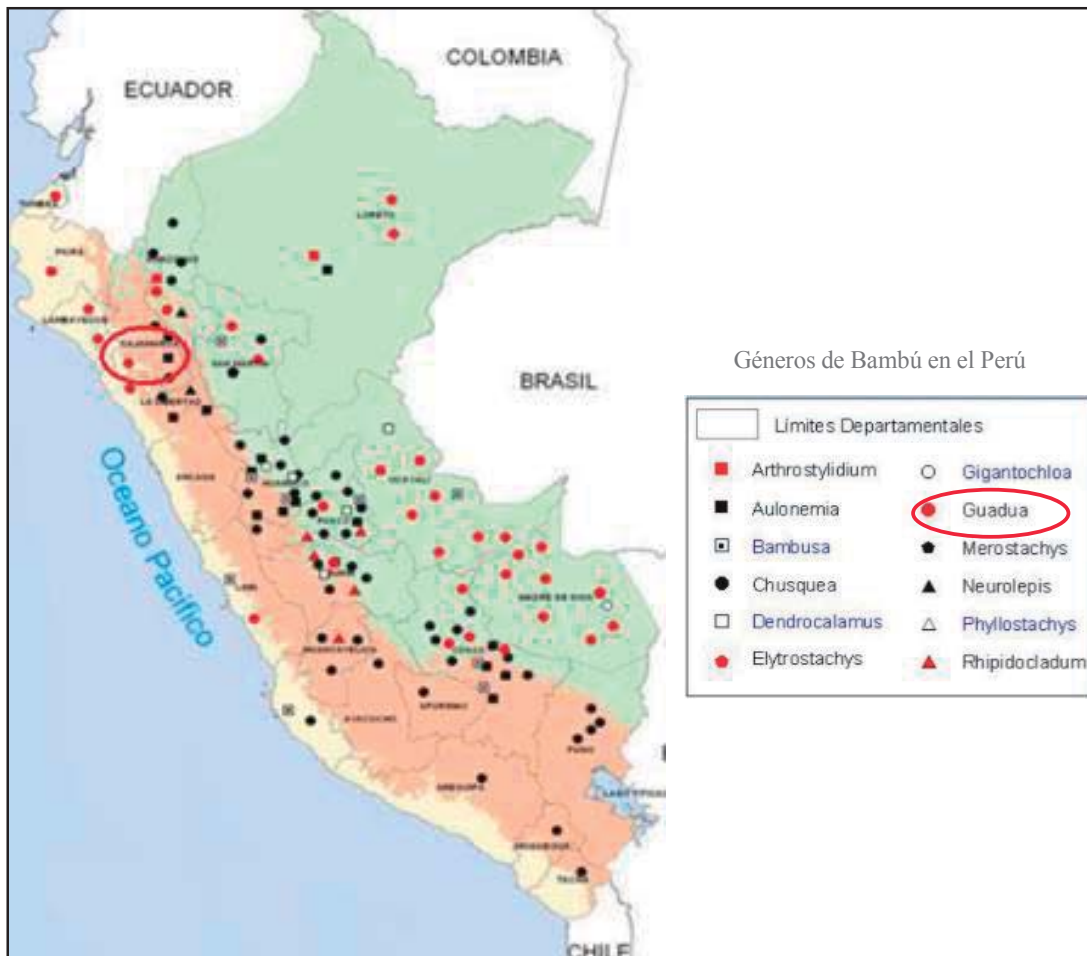


Figura 6: Distribución geográfica y taxonómica de los géneros de bambú en el Perú.

FUENTE: Takahashi (2006).

4.1.2. DIFERENCIAS ENTRE LAS PARTES DE LA CAÑA

En el bambú, el culmo es el eje cilíndrico que emerge del rizoma y está compuesto por un cuello y entrenudos huecos, separados por nudos de 5 mm de espesor que presentan un tabique transversal llamado Septum, que brindan rigidez, flexibilidad y resistencia al tallo aéreo. Las partes de la planta de bambú se pueden observar en la Figura 7 (Cruz 2009).

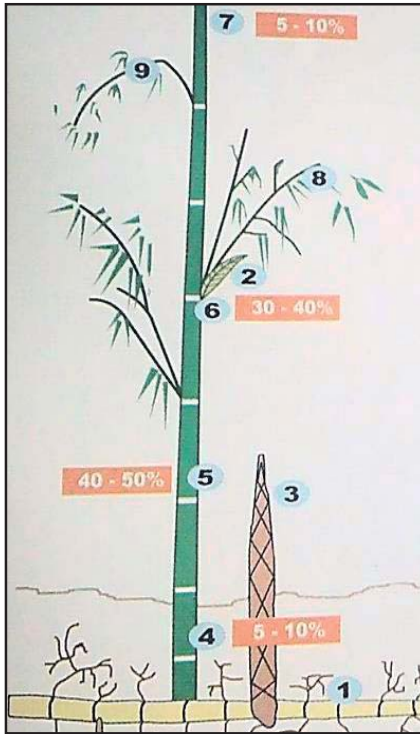


Figura 7: Partes de la planta de bambú: 1) rizoma; 2) hojas caulinares; 3) brotes; 4) parte basal; 5) parte inferior; 6) parte media; 7) parte apical; 8) pedúnculos.

FUENTE: Ministerio de Agricultura DGCA (2011).

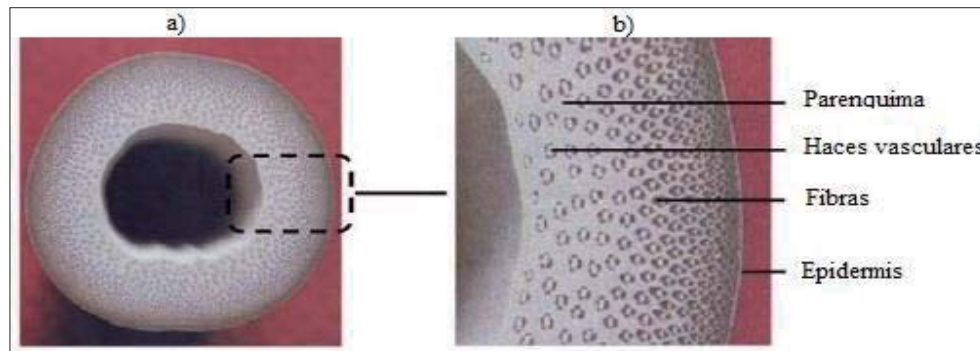
El culmo de la guadua presenta una disminución gradual, en sentido desde la base hacia la parte apical, en diámetro, espesor de pared y en longitud entre nudos (Ghavami y Marinho 2005). Las diferencias que se pueden observar a lo largo del culmo son principalmente con respecto a la distribución de las fibras, encontrándose el 56 por ciento en el segmento apical, 26 por ciento en el segmento medio y 29 por ciento en el basal. Las fibras más cortas se encuentran siempre cerca a los entrenudos (Hidalgo 2003).

La distribución de fibras en la parte basal y media es más uniforme, a diferencia de la parte apical; debido al hecho que desde la parte basal hasta la parte media del culmo deben resistir las flexiones causadas por las cargas de viento y deben soportar la mayor parte del peso de la planta (Ghavami y Marinho 2005).

4.1.3. COMPOSICIÓN ANATÓMICA Y QUÍMICA

La *Guadua angustifolia* presenta en su composición 51 por ciento de parénquima, 40 por ciento de fibras y 9 por ciento de tejido conductivo. Las fibras son largas y ahusadas en los extremos, llegando a tener una longitud de 1,6 mm. La epidermis del tallo está constituida por una gruesa capa de lignina, sílice y cutina, lo que la hace impermeable y resistente

(Hidalgo 2003). El espesor de la pared de la caña de la guadua mide en promedio 10,31 mm (Ghavami y Marinho 2005), y las fibras se concentran cerca a la epidermis, ver Figura 8.



a) Sección transversal, b) pared del culmo.

Figura 8: Distribución de las fibras en el culmo de la guadua.

FUENTE: López y Correal (2009).

En una caracterización de astillas de *Guadua angustifolia* se determinó que el contenido de extractivos en agua caliente fue de 12,8 por ciento y en alcohol 4,3 por ciento, el contenido de cenizas 2,1 por ciento, holocelulosa 54,2 por ciento y lignina 26,3 por ciento (Espinoza 2010). Estudios realizados indican que el porcentaje de holocelulosa y celulosa tiende a decrecer en bambúes mayores de un año, mientras que el contenido de lignina permanece estable o se incrementa ligeramente, con relación a las cenizas se observa una disminución en los contenidos de cobre, zinc, fósforo, hierro y potasio y un incremento en calcio, magnesio y manganeso (Londoño *et al.* 2010).

4.1.4. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

El bambú al igual que la madera, es anisotrópica y pierde humedad por debajo del punto de saturación de las fibras. La densidad en las variedades de bambú se encuentra entre 0,5 – 0,9 g/cm³, y los valores de densidad se incrementan desde la base hacia la parte superior de la caña, con el aumento de fibras (Espinoza 2010). La guadua laminada presenta una densidad de 0,715g/cm³, que corresponde a un contenido de humedad promedio de 12 por ciento, consistente con las condiciones medioambientales del laboratorio (López y Correal 2009).

Además, la guadua presenta en elasticidad un MOE radial y tangencial de 9523 MPa y 11456 MPa respectivamente (López y Correal 2009). Sin embargo, cada parte del culmo de la guadua va a presentar diferentes propiedades mecánicas, como se muestra en el Tabla 3.

Tabla 3: Propiedades mecánicas del bambú *Guadua angustifolia*.

Parte del culmo	Tensión		Compresión		Cizallamiento (MPa)
	MOR (MPa)	MOE (GPa)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	
Basal	69,88	15,70	25,27	9,00	1,67
Medio	82,62	11,10	28,36	12,15	1,43
Apical	64,26	8,00	31,77	15,80	2,11

FUENTE: Ghavami y Marinho (2005).

4.1.5. USOS

La guadua es un material ideal para construcciones por su carácter sismo-resistente, debido a su capacidad de absorber energía y admitir una mayor flexión (Cruz 2009). De acuerdo a las partes del culmo, ver Figura 7, las partes media e inferior son destinadas para construcciones y el residuo del procesamiento de ambas es usado en carbón, pulpa, leña, combustible y paneles. La parte inferior es usada en pisos, laminados, paneles, aglomerados y muebles. La parte media es usada en artesanías y textiles. La parte apical es usada en palillos y andamios. Las otras partes de la planta son usadas en artesanías, carbón, escobas, forraje entre otros (MINAG-DGCA 2011). En la Florida, Cajamarca, los usos principales son en artesanía, mueblería y cañas rollizas preservadas para construcción (Llerena 2008).

4.1.6. ANTECEDENTES COMO REFUERZO EN COMPUESTOS

En estudios realizados se observa que la *Guadua angustifolia* es apta para ser usada en la elaboración de tableros de partículas para uso no estructural, encontrándose que la densidad del bambú influencia en las propiedades físico-mecánicas del tablero de partículas final (Galdos 2007). También se tiene antecedentes en la elaboración de materiales compuestos como tableros aglomerados con cemento, y en los cuales se consiguieron características tecnológicas aceptables, la presencia de estas fibras de *Guadua angustifolia* influye significativamente en las propiedades del producto final, variando de acuerdo a la proporción que se use en la mezcla (Espinoza 2010).

Las parte basal, inferior, media, apical y pedúnculos de la planta de *Guadua angustifolia*, ver Figura 7, tienen potencial en bioplásticos (MINAG-DGCA 2011). En este sentido se han realizado numerables investigaciones en el uso de fibras y partículas de *Guadua angustifolia* como refuerzo en materiales compuestos como la realizada por Fajardo y Campomanes

(2015), quién evaluó el efecto del intemperismo sobre el compuesto, encontrando una leve pérdida del desempeño mecánico.

Estrada (2010) realizó modelaciones matemáticas, en las que se mostraron que los polímeros reforzados con fibras de guadua son comparables en rigidez con aquellos reforzados con fibras de vidrio. Esto verificaría la aptitud de las fibras de guadua, y de las fibras naturales en general, para reemplazar las fibras fabricadas por el hombre en el refuerzo estructural de materiales. Por otro lado, Lázaro (2016) elaboró compuestos con base en partículas de guadua, polipropileno y anhídrido maleico de polipropileno, mediante procesos de extrusión y compresión; si bien las propiedades físico-mecánicas se encontraron por debajo de los valores comunes, se demostró que se pueden elaborar estos compuestos y se podrían obtener mejores resultados optimizando los parámetros de procesamiento y realizando tratamientos previos a las partículas.

5. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

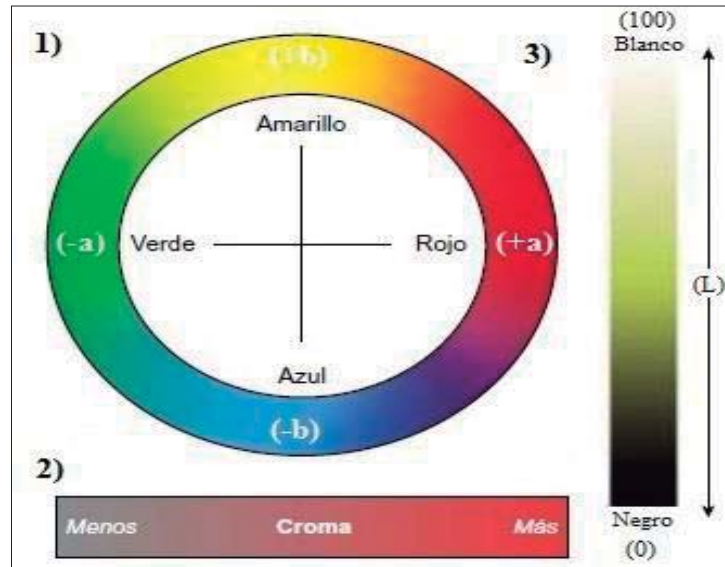
5.1. ASPECTO SUPERFICIAL

5.1.1. COLOR

Una de las características importante del WPC es su valor estético, el cual se ve comprometida por el intemperismo a través de una decoloración severa (Azwa *et al.* 2013). Por ello es necesaria la medición del color en los ensayos de intemperismo. El análisis de color es más que una expresión numérica. Generalmente es un análisis de igualdad o diferencia de un color al compararlo con una norma establecida; el más usado CIELAB.

Los cambios de color de los WPC, pueden ser usados como un indicador de los cambios químicos que se dan sobre la superficie del compuesto, los cuales reflejan el grado de deterioro. De esta forma se pueden incorporar agentes estabilizadores UV, aditivos y modificaciones de las fibras, durante la fabricación del compuesto (Azwa *et al.* 2013).

Cada color tiene su propia apariencia basada en tres elementos: matiz, luminosidad y croma. El matiz es como se percibe el color de un objeto: rojo, verde, etc. El croma describe lo llamativo o lo apagado de un color, es decir, que tan cerca está el color ya sea al gris o al matiz puro. La luminosidad es el grado de claridad, clasifica a los colores como tenues u oscuros al comparar sus valores (Figura 9). Cuando un color se expresa en el sistema CIELAB, la L* define la claridad, a* denota el valor rojo/verde y b* el valor amarillo/azul (X-rite 2002).



1) matiz; 2) croma y 3) Luminosidad.

Figura 9: Atributos del color.

FUENTE: X-rite (2002).

Hoy en día los instrumentos más usados para medir color son los colorímetros. Los cuales son dispositivos que usan tres filtros: rojo, verde y azul para emular la respuesta del ojo humano al color y la luz. Al realizar las mediciones, las expresiones de las diferencias de color utilizadas son: ΔL^* , Δa^* y Δb^* (Δ proviene del símbolo “delta”, que quiere decir “diferencia”). La diferencia total en el diagrama CIELAB es expresado como un valor único conocido como ΔE^* (X-rite 2002).

5.1.2. RUGOSIDAD

Los estados superficiales de los materiales compuestos madera-plástico y madera, todos ellos con diversos maquinados, tratamientos superficiales y aditivos, sufren cambios después de ser envejecidos de forma natural o acelerada (Aguilar 2008). Por ello, una de las propiedades más importantes en superficies de tableros en base a madera es la rugosidad; la cual puede definirse como la medida de finas irregularidades de la superficie. Su tamaño y frecuencia establecen la calidad de la superficie (Rolleri y Roffael 2006).

En la Figura 10, se observa un corte de una superficie en la que la rugosidad (R) son las irregularidad más pequeñas y finamente separadas a lo largo de la más corta longitud de muestreo; la ondulación (W) son irregularidades más grandes, la separación de picos y valles es mayor y la longitud de muestreo también; y finalmente, las imperfecciones (F) propias del material como estrías, grietas y agujeros (López *et al.* 2003).

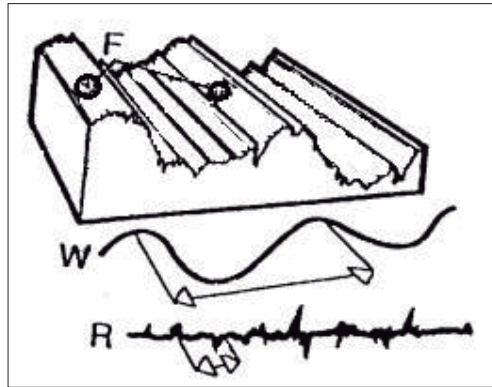


Figura 10: Vista ampliada de una superficie.

FUENTE: López et al. (2003).

Al respecto, Aguilar (2008) indica que la medición de la rugosidad de los compuestos sirve para evaluar los posibles cambios provocados por el envejecimiento artificial y natural. La técnica generalmente utilizada para caracterizar la rugosidad de la superficie de tableros en base a madera es el método de contacto, utilizando un tester de rugosidad Mitutoyo (Rolleri 2003). La medición se realiza cuando la aguja de sondeo, conectada al aparato de medida, realiza un barrido sobre la superficie del compuesto madera-plástico. El movimiento bidimensional de la aguja permite conseguir los datos basada en la amplificación eléctrica de la sección de la pieza y las imperfecciones (Aguilar 2008).

El parámetro de medida más utilizado en procesos productivos, es la media aritmética (R_a) promedio en micras (Aguilar 2008). La cual es la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones del perfil en los límites de la longitud básica medida (Rolleri 2003), es decir, es el promedio de alturas graficadas en una muestra de datos. En la Tabla 4, se muestran los R_a para diferentes acabados (López et al. 2003).

Tabla 4: Valores de rugosidad para diferentes acabados.

<i>Clase</i>	<i>R_a (μm)</i>	<i>Clase</i>	<i>R_a (μm)</i>
<i>Espejo</i>	0,1	<i>Semifino</i>	3,2
<i>Pullido</i>	0,2	<i>Medio</i>	6,3
<i>Ground</i>	0,4	<i>Semirugoso</i>	12,5
<i>Terso</i>	0,8	<i>Rugoso</i>	25
<i>Fino</i>	1,6	<i>Limpio</i>	50

FUENTE: López et al. (2003).

5.2. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

En general al agregar el componente madera a una matriz termoplástica se incrementa las propiedades mecánicas y la estabilidad térmica en comparación con el termoplástico sólido. Mientras que el componente termoplástico puede representarse como una barrera de humedad para los elementos de la madera, disminuyendo la absorción de agua e hinchazón en comparación con la madera (Wolcott y Englund 1999).

La dirección de las partículas dentro de la matriz termoplásticas también afecta el comportamiento del WPC, ya que influyen en la anisotropía del material (Vallejos 2006). Si se dispersan las partículas de forma desordenada dentro de la matriz, se obtendría un material compuesto casi isotrópico. Y si las partículas de refuerzo presentan variabilidad de tamaños el material es considerado cuasi-homogéneo (Aguilar 2008; Daniel e Ishai 2006), es decir que las variables de las propiedades del material en función de la posición dentro del material pueden ser despreciadas (Tsai y Miravete 1988).

Las propiedades de los materiales compuestos van a depender de la fracción de volumen de las fibras, temperatura del proceso, aditivos, así como el tiempo de termoplástico utilizado (Rowell 2006). El incremento del contenido de fibras lignocelulósicas en la matriz termoplástica genera un aumento en la tensión y módulo de elasticidad, y una disminución en la resistencia al impacto. Sin embargo, el uso de agentes acoplantes influye de manera positiva, mejorando la adhesión interfacial del compuesto (Majewski y Błędzki 2013).

En este sentido, Rosa *et al.* (2009) elaboró compuestos a base de polipropileno con 40 por ciento de cáscara de arroz, obteniendo un compuesto con una densidad de $0,94 \text{ g/cm}^3$. Además, registró que la resistencia a la tensión de los composites disminuye con el incremento del componente lignocelulósico, con una deficiente área interfacial entre los componentes, de manera que los débiles enlaces entre ellos disminuyen la resistencia a la tensión. Otras investigaciones realizadas para caracterizar a los materiales compuestos se presentan en las Tablas 5.

Tabla 5: Propiedades mecánicas de materiales compuestos con fibras naturales.

Fuente	Matriz	Refuerzo lignocelulósico	Proporción del refuerzo (%)	Tensión		Flexión	
				MOR (Mpa)	MOE (GPa)	MOR (Mpa)	MOE (GPa)
Samal <i>et al.</i> (2009)	PP	Bambú	30	43,96	1,2	56,2	2,5
Cárdenas (2012)	PP	partículas de Pino	50	21	1,5-1,7	25	1
Vallejos (2006)	PP	Cáñamo	30	37,2	2,7	69,4	4,1

FUENTE: Elaboración propia.

Además, otros investigadores como Cárdenas (2012) y Moya *et al.* (2012) elaboraron compuestos reforzados con material lignocelulósico, a base de pino con PP y PE reciclado, respectivamente y obteniendo un compuesto con densidades de 0,99-1,05 y 1,06-1,11 g/cm³, respectivamente. Por otro lado, Lázaro (2016) registró que las propiedades de densidad, tensión, flexión e impacto del compuesto bambú-plástico, se encontraron por debajo de los valores comunes. Sin embargo, los compuestos con malla ASTM -60/+80 y 30 por ciento de contenido de partículas de bambú fueron los que presentaron mejores propiedades físico-mecánicas. Mientras que los compuestos con 50 por ciento de contenido de partículas fueron las que presentaron menores propiedades.

6. INTEMPERISMO

El intemperismo se entiende como la exposición de materiales directamente al aire libre, provocando la degradación de la superficie, la cual se manifiesta tanto física como químicamente (Gomes *et al.* 2005). La radiación UV es el catalizador de esta fotodegradación, la cual se incrementa con los cambios de temperatura, humedad, ciclos de congelación, abrasión por partículas arrastradas por el viento, así como también el crecimiento de microorganismos (Williams 2010).

Los fenómenos de meteorización son considerados como procesos complejos y altamente variables, dificultando la evaluación de los efectos producidos sobre los materiales expuestos, por ello para obtener resultados adecuados se deben medir antes y después de los procesos, aspectos como peso, espesor y apariencia general, de esta forma se genera un criterio de evaluación de la degradación (Gomes *et al.* 2005). También se deben determinar

las variables que van a incidir en el material como el tiempo de exposición, el lugar en el que se harán los ensayos y la disposición de las muestras (Hardcastle 1999).

El intemperismo causa la degradación de los compuestos a través de la foto-degradación, degradación térmica, foto-oxidación e hidrólisis. Estos procesos producen cambios en sus propiedades químicas, físicas y mecánicas (Azwa *et al.* 2013). Por ello es necesario saber la influencia que tienen estos procesos sobre el comportamiento que tendrá el compuesto bambú plástico en el exterior. Se debe tener en cuenta también que el método de elaboración puede influir en la degradación del compuesto (Stark y Matuana 2007).

6.1. EFECTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LOS LUGARES DE EXPOSICIÓN

En conjunto, los factores ambientales que causan mayor efecto sobre la degradación de los materiales expuestos a la intemperie son la radiación ultravioleta, la humedad, el calor y el viento (Gomes *et al.* 2005). Luego están los factores secundarios como las variaciones estacionales y anuales, las diferencias geográficas, los gases atmosféricos y la contaminación ambiental (Stark y Gardner 2008). Estos factores no pueden ser controlados; por ello se recomienda que la evaluación de la exposición al intemperismo natural se realice en diferentes lugares con climas que representen las condiciones de servicio previstas para el material (ASTM D1435 2015).

Los factores ambientales en el lugar de exposición actúan sobre los materiales compuestos degradándolos de la siguiente manera: primero los rayos UV degradan la lignina contenida en el compuesto, formando compuestos solubles al agua que luego son lavados por efecto de la lluvia, dejando la superficie rica en celulosa y con una apariencia fibrosa que absorbe la humedad. Mientras que la fotodegradación del plástico incluye la oxidación, se observa cambios en la cristalinidad y estructura como la rotura de cadenas. Formando grietas y pérdida de resistencia y módulo de elasticidad (Stark y Gardner 2008).

Además, dependiendo del lugar de exposición, una caída repentina de temperatura de la superficie del compuesto, es una de las razones por las que también se pueden formar grietas. Por ejemplo, la superficie de un material compuesto está caliente mientras se encuentra funcionando en una atmósfera soleada, y repentinamente se enfría por la lluvia, generando tensiones transitorias en la superficie. De igual modo, las reducciones repentinas en la humedad relativa del ambiente pueden hacer que la capa superficial del compuesto entre en tensión para liberar humedad (Sinmazçelik 2006).

La erosión por partículas sólidas también tiene una influencia en la formación de grietas en la superficie, se produce por el choque de partículas sólidas en el aire. Es una forma de abrasión, debido a que la tensión surge por la energía cinética de las partículas que fluyen en el aire a medida que encuentran una superficie polimérica, la erosión se produce como resultado de los impactos repetidos (Sinmazçelik 2006). Las gotitas de lluvia pueden considerarse como otro factor de erosión, como impacto líquido, ya que las pequeñas gotas de lluvia van a incidir sobre la superficie de un material polimérico a altas velocidades y altas presiones (Bhushan citado por Sinmazçelik 2006).

Fabiyi *et al.* (2008) indica que periodos prolongados de exposición a los factores ambientales, incrementan la variación de color y pérdida de madera por las grietas y desgaste de la superficie. Se observa que durante el intemperismo la madera contenida en la superficie del compuesto disminuye, contrariamente el plástico contenido que se incrementa. Esto sugiere que el componente madera es preferencialmente degradado, una conclusión abalada por observaciones SEM y análisis infrarrojos.

Los contaminantes atmosféricos pueden afectar la degradación de los materiales compuestos durante el intemperismo, ya que ingresan fácilmente a través de las grietas que se presentan en la superficie. Las partículas de suciedad pueden entrar a través de las grietas abiertas, cuando la superficie se calienta y expande; si los contaminantes se encuentran en estado líquido pueden difundirse más fácilmente en el polímero. Además, la interface entre los materiales de refuerzo y la matriz está bajo mayor riesgo de este proceso, en comparación con la fibra y matriz en sí mismos (Mills citado por Sinmazçelik 2006).

Dependiendo de la ubicación geográfica, uno de los factores más importantes en la pérdida de peso de los materiales compuestos expuestos a la intemperie, es la lluvia ácida. Los relámpagos conducen a una reacción entre el nitrógeno atmosférico y el oxígeno en presencia de vapor de agua, formando ácido nítrico y ácido sulfúrico; los cuales reaccionan con los componentes del material generando cambios notables en las propiedades físicas y químicas (Sinmazçelik 2006).

6.1.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LOS LUGARES DE EXPOSICIÓN

Los lugares en estudio presentan condiciones climáticas características, que en conjunto influyen de diferente forma sobre el comportamiento de los materiales compuestos expuestos al aire libre.

El distrito de Chosica presenta un clima semiárido con precipitaciones menores a los 100mm anuales, concentradas entre los meses de diciembre y marzo (Abad 2000). Presenta dos estaciones bien marcadas: verano e invierno. El verano se presenta de abril a octubre, con sol dominante y diferencias de temperatura en el día y la noche de 22 y 18 °C. El invierno se presenta de noviembre a marzo, con ligero frío, llovizna y niebla, pero siempre con sol radiante, con diferencias de temperatura en el día y la noche de 22 y 16 °C (Barcia 2006). En cuanto a la radiación, se presenta en la Tabla 6.

El distrito de La Molina presenta un clima templado. La atmósfera de abril a diciembre se caracteriza por un amanecer de nubes y nieblas, que eventualmente producen una débil llovizna. Contrariamente en la noche la temperatura desciende, causando una sensación de frío. La atmósfera de diciembre a abril se caracteriza por alternar días y noches despejados con la esporádica Aparicio de nubes que llegan a producir algunas lluvias, el ambiente se mantiene templado e incluso caluroso. En las noches temperatura desciende, aunque la humedad se mantiene media. En general la temperatura fluctúa en los 20 °C durante el día y en la noche 11°C (Escarcena 2009). En cuando a la radiación, se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6: Irradiancia registrada para Chosica y La Molina.

<i>Meses / Distritos</i>	<i>Irradiancia (kwh/h²)</i>	
	<i>La Molina</i>	<i>Chosica</i>
<i>Agosto-octubre</i>	4,5-5,0	5,0-5,5
<i>Noviembre-enero</i>	6,0-6,5	6,5-7,5
<i>Febrero-julio</i>	5,0-5,5	6,0-6,5

FUENTE: SENAMHI y DGER-MEM (2003).

6.2. FACTORES QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DEL COMPUESTO DURANTE EL INTEMPERISMO

6.2.1. CONDICIONES DE FABRICACIÓN

Azwa *et al.* (2013), menciona que una pobre adhesión entre las partículas de las fibras con la matriz polimérica genera espacios vacíos alrededor de las partículas de fibra. Por otro lado, distribución poco homogénea de la mezcla dentro del molde puede afectar las propiedades del compuesto; al respecto Rosa *et al.* (2009) menciona que la presencia de aglomerados de partículas pueden generar defectos y espacios vacíos entre las fibras y la matriz polimérica, disminuyendo por ejemplo la resistencia a la tensión. Debido a esto, Fabiyi *et al.* (2008) recomienda mayor atención en la estabilidad del componente madera dentro de la matriz

polimérica. Esta puede ocurrir ya sea antes o durante la elaboración del WPC, con el fin de producir mejores rendimientos ante el intemperismo de los productos del WPC.

6.2.2. PROPORCIÓN DE FIBRAS

Azwa *et al.* (2013) indica que los compuestos reforzados con fibras naturales, expuestos al exterior, deben tener un contenido de fibras limitado, sólo hasta alcanzar la resistencia prevista, para minimizar la absorción de humedad y aumentar la durabilidad del compuesto.

Independientemente del tamaño de partícula, una mayor proporción de madera en los composites induce un cambio superior de claridad, atribuyéndole este efecto a la fotodegradación que sufre la lignina presente en las partículas de madera (Fuentes *et al.* 2014). Así mismo, Azwa *et al.* (2013) indica que los diferentes polímeros de la pared celular de las fibras lignocelulósicas van a presentar influencias sobre las propiedades del compuesto y la degradación. Por ejemplo, la celulosa es responsable de la resistencia de las fibras, la hemicelulosa es responsable de la degradación térmica, biológica y por humedad, mientras que la lignina es responsable de la degradación UV.

Por otro lado, Azwa *et al.* (2013) manifiesta que el contenido de fibras es el factor que mayor afecta la absorción de agua de los composites ya que mejora la porosidad de la matriz, mediante la creación de trayectorias de humedad dentro de la matriz. Sin embargo, esta condición puede ser reducida mediante la modificación de las fibras mediante procesos de alcalinización o adición de agentes acoplantes.

6.2.3. EFECTO DE LA RADIACIÓN

Los rayos UV que llegan a la superficie de la tierra se encuentran dentro del rango de 295 a 400 nm de longitud de onda y representan el 6,8 por ciento del total del Espectro de Irradiancia, ver Tabla 7. El término irradiancia se refiere a la incidencia de la radiación por superficie (Rowell 2005).

Tabla 7: Porcentajes del total del espectro de radiación UV, visible y radiación IR.

<i>Radiación</i>	<i>Longitud de onda (nm)</i>	<i>% del total de Irradiancia</i>
<i>Radiación UV</i>	25-400	6,8
<i>Luz Visible</i>	400-800	55,4
<i>Radiación infraroja</i>	800-3000	37,8

FUENTE: (Rowell 2005).

La incidencia de la radiación UV sobre los compuestos madera plástico genera una fotodegradación de los componentes del material, ver Figura 11, causando agrietamientos sobre la superficie de la matriz y degradación de la lignina presente en las partículas de madera (Stark y Matuana 2007). Debido a que la lignina es el componente, de la madera, que absorbe mayor cantidad de rayos ultravioleta entre 80 y 95 por ciento (Fengel y Wegener 1988). Los agrietamientos aparecen en la superficie del compuesto debido a la recristalización del polímero por la escisión de cadenas moleculares, produciendo una contracción de la capa superficial (Fabiya *et al.* 2008).

La degradación fotoquímica producida por la luz ultravioleta comienza con un ataque a la lámina media rica en lignina y con la exposición prolongada, sigue la degradación de las paredes (Fengel y Wegener 1988). Luego, la superficie se enriquece de celulosa mientras la lignina se degrada. En comparación con la lignina, la celulosa es mucho menos susceptible a la degradación UV. Después que la lignina fue degradada, las fibras ricas en carbohidratos pobremente enlazados fueron erosionados fácilmente desde la superficie, con la exposición de nueva lignina que conlleva a reacciones degradativas (Mohanty *et al.* 2000).

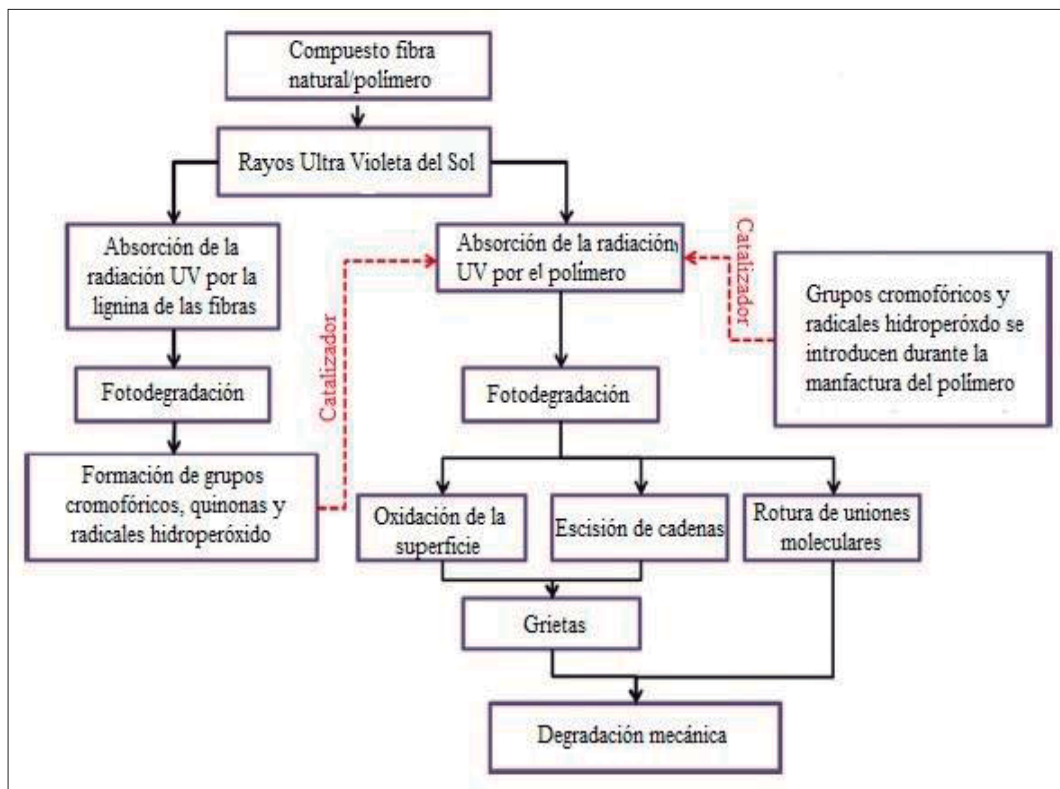


Figura 11: Fotodegradación por los rayos UV, de un compuesto fibra/polímero.

FUENTE: Azwa *et al.* (2013).

La fotodegradación se propaga a través de radicales libres. Esta oxidación superficial influye en el cambio de color del WPC, aumenta la absorción de rayos UV del compuesto y disminuye las propiedades mecánicas del mismo (Morrell *et al.* 2006).

La degradación por irradiación, que presentan los materiales expuestos al aire libre, no es fácil de predecir debido a los factores ambientales cambiantes. La presencia de nubes es un obstáculo para los rayos UV y depende de las características climáticas del lugar de desempeño del compuesto (Wypych 2013).

6.2.4. EFECTO DE LA HUMEDAD

Los ciclos de humedad en el ambiente son muy variables y dependen de las condiciones climáticas propias del lugar. Cuando las fibras son expuestas repetidamente a estos ciclos de humedad, el contenido de humedad se ve incrementado ya que el agua ingresa a las paredes celulares, aumentando también la velocidad y extensión del hinchamiento (Fuentes *et al.* 2014). En los WPC los grupos hidroxilo del material lignocelulósico, son los principales responsables de la absorción de agua, lo que hace que las fibras se hinchen (Stark y Gardner 2008); y esto conduce a una mayor penetración de la luz (Azwa *et al.* 2013). Así como la aparición de micro-agrietamientos debido a la absorción de humedad (Rowell 2005).

La penetración de agua en el material compuesto es causada por las grietas en el plástico, contenido y tamaño de fibras, método de elaboración, así como aditivos presentes en el compuesto. Si bien el plástico le otorga resistencia al compuesto contra la absorción de humedad, una vez que la humedad ingresa a la matriz el desgaste es inevitable (Morrell *et al.* 2006). Se genera una degradación interfacial de los WPC, lo que afecta en mayor medida a las propiedades mecánicas del material, como el módulo de elasticidad de flexión y la tensión (Stark 2007).

La Figura 12 muestra que inicialmente existe una adhesión entre la partícula de madera y la matriz en un WPC seco. Cuando la partícula de madera absorbe humedad y se hincha, se genera estrés en la matriz, llevando a la formación de micro-grietas. Esto también crea estrés en la partícula de madera, causando daños. Después de que el compuesto se vuelve a secar, ya no hay adhesión en la interface ente la matriz y la partícula de madera. Se forman grietas en el plástico y la brecha interfacial contribuye en la penetración de agua dentro del compuesto durante la exposición (Stark y Gardner 2008).

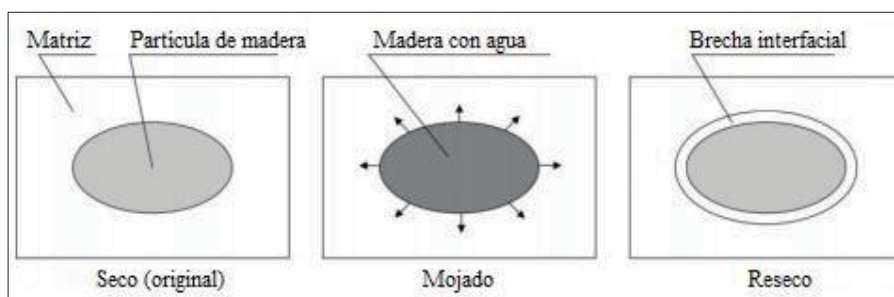


Figura 12: Esquema del daño de la humedad en el WPC.

FUENTE: Stark y Gardner (2008).

6.2.5. EFECTO DE LA TEMPERATURA

La temperatura juega un papel importante en la degradación de los compuestos en la intemperie y va a depender también de la locación latitudinal de la exposición (Wypych, 2013). Dependiendo de la exposición climática particular, los WPC usados en aplicaciones de cubiertas pueden experimentar rangos de temperatura desde -30 hasta 50 grados centígrados (Stark y Gardner 2008).

El estrés térmico causado por las variaciones de temperatura del día y la noche, pueden generar agrietamientos superficiales en los compuestos (Joseph *et al.* 2002). En estos ciclos térmicos, tanto la matriz como las fibras se expanden y contraen de acuerdo a sus coeficientes de dilatación térmica. A medida que se ven limitados internamente, se genera una acumulación de estrés en la interfase. Estas tensiones pueden ser aliviadas mediante: la deformación plástica de la matriz, agrietamientos superficiales o el fracaso de la interfaz fibra/matriz (Sımmazçelik 2006).

Los cambios térmicos primarios que afectan a las propiedades del WPC incluyen: expansión térmica, fluencia mecánica y degradación térmica-oxidativa. Entre ellos, la expansión térmica en los tableros de cubierta de WPC, se vuelve importante durante la instalación porque el espaciamiento incorrecto puede dar lugar a deformaciones (Stark y Gardner 2008). Por ello, los ciclos de temperatura pueden ser perjudiciales para las estructuras expuestas a la intemperie que no pueden expandirse o contraerse libremente (Sımmazçelik 2006).

7. EFECTO DEL ÁNGULO DE EXPOSICIÓN

Cualquier material expuesto al exterior recibirá mayor energía solar, cuando la luz del sol incide sobre ella directamente que cuando la luz proviene de un ángulo. Por lo tanto, el ángulo de exposición de las muestras (llamado también ángulo de inclinación), afecta la cantidad de radiación solar que va a recibir (Q-Lab 2011).

El ángulo de exposición tiene un impacto significativo en la respuesta de un espécimen a su medio ambiente (Q-Lab 2011). Por ello, es necesario tenerlo en consideración durante el proceso de degradación de los materiales expuestos a la intemperie (Gomes *et al.* 2005); ya que el ángulo de exposición determina la dosis de radiación solar, la tasa de acumulación de calor y enfriamiento de la muestra e influye en la cantidad de tiempo que la muestra puede estar mojada debido a la formación de rocío, lluvia o vientos secos (Q-Lab 2011).

En la fotodegradación de materiales a base de madera, el ángulo de exposición juega un papel importante (Rodríguez y Fuentes 2003). El ángulo de exposición utilizado debe ser representativo del entorno de servicio esperado del material. La exposición en el ángulo correcto asegura que la prueba se realista y aumenta la confianza en los resultados (Q-Lab 2011). Por ello, se recomienda en la evaluación de materiales compuestos expuestos a la intemperie, colocar las muestras sobre bastidores de 45, 90 y 0 grados de inclinación, dependiendo del uso final del producto (ASTM D1435 2015).

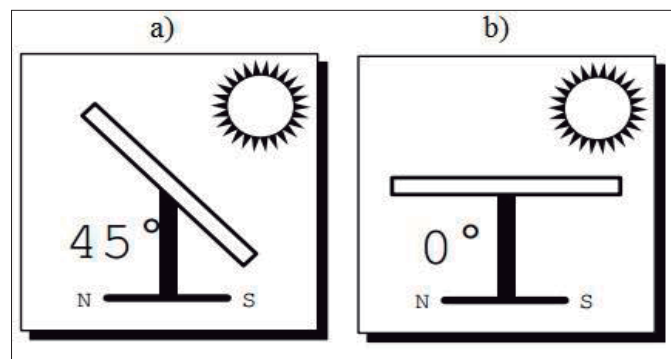


Figura 13: Ángulos de inclinación para materiales expuestos a la intemperie.

FUENTE: Adaptado de Q-Lab (2011).

En la Figura 13 se pueden observar: el ángulo de exposición de 45 grados (a), considerado como el ángulo típico de exposición al aire libre, ya que está destinado para materiales que aún no tienen un ángulo específico de uso final. Mientras que el ángulo de 0 grados (b) rara

vez se utilizan para muestras planas, ya que se prefiere la ligera inclinación de 5 grados para permitir el escurrimiento del agua. Se utiliza para aplicaciones como techos, donde se requiere el encharcamiento de agua (Q-Lab 2011).

8. EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL COMPUESTO

8.1. VARIACIÓN DE COLOR

El color del compuesto refleja principalmente el color de la madera, durante el intemperismo, aunque algún blanqueamiento es debido al agrietamiento de la matriz por estrés. El agua y la radiación UV contribuyen en conjunto a incrementar el aclaramiento del compuesto (Stark y Gardner 2008). Así mismo, la decoloración y el amarillamiento son el resultado de la pérdida de contenidos de metoxil de la lignina, la foto disociación de los enlaces carbono y la formación de grupos cromofóricos a base de carbonilos (Azwa *et al.* 2013).

En el estudio realizado por Fabiyi *et al.* (2008), las muestras expuestas a la intemperie se aclararon en los primeros 8 meses y luego se oscurecieron. Lo cual se puede deber a la acción de hongos o suciedad que se depositó en la superficie. Así mismo, a las concentraciones de carbonilo y vinil que se incrementaron en el intemperismo, pero que luego de tiempos largos de exposición, los carbonilos (ácidos carboxílicos y esteres) y vinilos empiezan a disminuir, posiblemente porque las concentraciones de madera y plástico de la superficie exterior disminuyeron. Finalmente, se concluyó que la deslignificación y oxidación conllevan a incrementos de aclaramiento.

En cuanto a los materiales compuestos comerciales de uso en exteriores, Treborimex (2016) ofrece productos a base de compuestos de bambú con polvo de madera y polietileno en proporciones de 55/45. Las tarimas que comercializa presentan un aclaramiento de 5 a 10 por ciento al año de funcionamiento. Por otro lado, Trebordeck (2016) ofrece terrazas de perfil hueco y sólido, a base de fibras naturales y PE en proporción 60/35, con un $\Delta E < 0,6$.

Yang *et al.* (2015) registró incrementos significativos de claridad en los primeros 90 días de exposición. Entre los 90 y 180 días de intemperismo natural se registraron valores de L^* mayores a 70 y menores de 75 para para la proporción 50/50; y valores mayores a 65 y menores de 70 para la proporción 70/30. En cuanto a la variación de color (ΔE), para el mismo periodo, fue entre 19 y 22 para la proporción de 50/50 y entre 15 y 17 para la

proporción 30/70. Siendo los compuestos con mayor proporción de partículas lignocelulósicas, las que registraron mayores aumentos en claridad y cambio de color.

Catto (2015) expuso durante 9 meses compuestos eucalipto/PP y pino/PP en proporción 30/67 con 3 por ciento de agente acoplante. Registrando a los 3 meses valores aproximados de ΔL de 43 y 45,5 respectivamente; y a los seis meses de intemperismo registró 17,5 y 16,5 respectivamente. Observándose que en los primeros 3 meses existe un aumento en ΔL , sin embargo, con el aumento del tiempo de exposición las mismas muestras presentaron un decrecimiento en la luminosidad, probablemente debido a la deposición de partículas del medio ambiente. Así mismo registró que las muestras de plástico puro presentaron una disminución en claridad debido a la pérdida de color a lo largo de los meses o al depósito de polvo y contaminantes de la atmósfera, oscureciendo las muestras.

Fuentes *et al.* (2014) realizó el ensayo de intemperismo de un material compuesto maderapolipropileno registrando, para compuestos de malla ASTM 60 con mayor proporción de partícula (50 por ciento), un incremento de claridad de 35 por ciento luego de cuatro meses de exposición.

Al respecto Homkhiew *et al.* (2014), indica que existe un cambio drástico en la claridad y color, el cual es favorecido con mayores proporciones de harina. Observándose los valores más altos de L^* , a los 60 días de exposición y luego disminuyeron gradualmente hasta los 180 días, desde donde volvieron a incrementarse levemente. Registrándose a los 180 días, para una proporción 45/51 de caucho/PP, un L^* aproximado de 75 y un ΔE aproximado de 35. Sin embargo, con el uso de estabilizadores UV se pueden reducir los cambios de L^* . Adicionalmente, comparando compuestos elaborados con plástico virgen y plástico reciclado, los primeros presentan bajo aclaramiento en comparación con los segundos. Lo cual puede ser debido a una mejor encapsulación de la madera por el polipropileno virgen, o una buena dispersión y fuerte unión interfacial entre la madera y el polímero. Además, los cambios significativos en los valores en ΔE por el intemperismo son causados por los altos contenidos de la harina de madera y la omisión de estabilizadores UV.

Cárdenas (2012) luego de 168 días de intemperismo natural, registró una variación de claridad de 33 por ciento para compuestos de pino y PP.

Al respecto Hung *et al.* (2012), al ensayar un compuesto bambú-plástico 40/60, verifica que existe un cambio de color no significativo en los primeros 56 días, luego de los cuales el

valor cambia significativamente, incrementándose linealmente después de 180 días, registrando un ΔE de 17,2; para finalmente estabilizarse.

Fabiyi *et al.* (2008) expuso a intemperismo natural materiales compuestos con 33, 8 por ciento de PP y 58, 9 por ciento de madera, durante 2 años. Se registró luego de 180 días de exposición a la intemperie, valores de ΔE cercanos a 40 y valores de ΔL cercanos a 10, para compuestos a base de PP (33.8 %) y pino (58,9 %).

8.2. VARIACIÓN DE LA RUGOSIDAD

Durante el intemperismo la superficie de los compuestos sufre destrucciones, dejando partículas expuestas que absorben agua y se hinchan, como resultado la superficie termina escamosa y agrietada (Stark y Gardner 2008). Al respecto, Fabiyi *et al.* (2008) determinó tres etapas de degradación durante el intemperismo: primero las capas superficiales son erosionadas, creando cavidades severas; en segundo lugar, la frecuencia y tamaño de las cavidades se incrementa conforme se extiende el tiempo de exposición; y en tercer lugar, se desarrollan unas pequeñas rajaduras sobre la superficie como resultado de la segunda etapa.

La humedad afecta la superficie del material compuesto generando micro-agrietamientos, la intensidad de estos agrietamientos aumentará a medida que se incremente la proporción de madera en el compuesto (Rowell 2005). Lo cual fue comprobado por Yang *et al.* (2015), quien registró una notable presencia de grietas sobre los compuestos recién después de 90 o 180 días de exposición, la cual fue más severa en los compuestos con mayor contenido de madera, ya que en estos casos una parte de la matriz fue removida permitiendo que el interior sea expuesto.

Anwar *et al.* (2011) basado en los resultados de diversos estudios indica que el valor medio de rugosidad de la madera sólida varía de 1,5 a 2,0 μm en función del proceso de mecanizado y lijado. Además, expuso muestras de bamboo plywood, al intemperismo durante seis meses, encontrando valores de R_a igual a 8,36 y 11,9 μm . Atribuyendo los elevados valores a los efectos de los factores ambientales.

Aguilar (2008), expuso durante 3 meses a intemperismo natural, compuestos a base de partículas de *Pinus radiata* y polipropileno en proporción 60/40. Registrando valores promedio de R_a de 8,25 μm para superficies influenciadas por el cabezal de la extrusora. Para los compuestos que fueron cepillados se registraron valores promedio de R_a de 6,44 μm . Observándose así que el maquinado le otorga calidad a la superficie. Por otro lado la

madera sola, seca y cepillada, después de ser expuesta al intemperismo presentó valores promedio de Ra de 4,24 μm .

8.3. PROPIEDADES FÍSICAS

Los compuestos termoplásticos reforzados con fibras naturales sometidos a intemperismo, experimentan variaciones en sus propiedades físicas, lo que se puede ver claramente en el contenido de humedad presente en el WPC, el cual va a ser mayor que el de un plástico sólido, ya que las fibras expuestas buscan estar en equilibrio con el ambiente que las rodea (Rowell 2005). Mientras que, en la absorción, los WPC presentan una baja absorción de humedad en comparación que la madera (Klyosov 2007).

El hinchamiento en los materiales compuestos expuestos a la intemperie, en la mayoría de casos es mayor al de la madera sólida, debido a que no solo es absorción de humedad sino también se trata de la liberación de las fuerzas de compresión, que se dieron durante el prensado del material. Este proceso de hinchamiento es irreversible, a diferencia del que se presenta en la madera que, si es reversible, ya que se contrae de nuevo al secarse. El hinchamiento de los materiales compuestos puede ser retardado añadiendo ceras u otros aditivos a la composición (Wolcott y Englund 1999).

En cuanto a los materiales compuestos comerciales de uso en exteriores, Treborimex (2016) ofrece productos a base de compuestos de bambú con polvo de madera y polietileno en proporciones de 55/45. Las tarimas que comercializa presentan una tasa de variación de espesor tras 24 horas de sumergido menor a 1 por ciento y densidad 1,1 g/cm^3 . JM pisos (2016) ofrece pisos de bambú con PE en proporción 60/30, con capacidad de absorber agua tras 24 horas de sumergido igual a 0,8 por ciento y densidad 1,285 g/cm^3 . Por otro lado, Trebordeck (2016) ofrece terrazas de perfil hueco y sólido, a base de fibras naturales y PE en proporción 60/35, con las siguientes características: tasa de variación de espesor y absorción de agua, tras 24 horas de sumergido, menor igual a 0,5 por ciento y 2 por ciento respectivamente, y densidad igual a 1,34 g/cm^3 .

Yang *et al.* (2015) expuso a intemperismo natural durante un año, compuestos plástico madera de malla ASTM 120 con proporciones 30/70 y 50/50, registrando pérdida de masa después de los 90 o 180 días de exposición. A los 180 días de exposición se presentaron valores aproximados de densidad de 1,08 y 1,14 g/cm^3 para las proporciones 30/70 y 50/50 respectivamente; y entre 4 y 4,5 por ciento de contenido de humedad. Los valores de

absorción de agua fueron de 0,9 y 1,5 por ciento respectivamente para cada proporción. Mientras que el hinchamiento fue menor a 1 por ciento en ambas proporciones.

Fabiyi *et al.* (2008) registró para compuestos a base de PP (33.8%) y pino (58,9%), luego de 180 días de exposición a la intemperie, una disminución en el contenido de la madera llegando a un 30 por ciento.

Hung *et al.* (2012) luego del intemperismo, para un compuesto bambú-plástico la absorción después de 24 horas de inmersión en agua fue de 19 por ciento.

8.4. PROPIEDADES MECÁNICAS

El hinchamiento de las fibras debido a la absorción de humedad es el responsable principal de las pérdidas en las propiedades mecánicas de los compuestos, después del intemperismo. La pérdida de resistencia se debe a la penetración de humedad en el compuesto, que degrada la interface, disminuyendo la eficiencia en la transferencia de esfuerzos desde la matriz a las fibras. El sinergismo entre la radiación UV y la humedad también contribuyen a las pérdidas en las propiedades mecánicas por la erosión e incremento de humectabilidad de la superficie (Stark y Gardner 2008).

En cuanto a los materiales compuestos comerciales de uso en exteriores, Treborimex (2016) ofrece productos a base de compuestos de bambú con polvo de madera y polietileno en proporciones de 55/45. Las tarimas que comercializa presentan una resistencia a la flexión de 45,4 MPa y piezas rotas por impacto 1 de 10. Pisos JM pisos (2016) ofrece pisos a base de bambú y polietileno en proporción 60/30, con una resistencia a la flexión de 38 MPa y una resistencia a la tensión de 21,08 MPa. Por otro lado, Trebordeck (2016) ofrece terrazas de perfil hueco con resistencia a la flexión de 19,1 N/mm² y módulo de elasticidad 846 N/mm², y terrazas de perfil sólido con resistencia a la flexión de 27,6 N/mm² y módulo de elasticidad 1147 N/mm².

Fajardo y Campomanes (2015), también ensayaron compuestos de guadua con PP, en proporción 30/70, obtenidos mediante procesos de extrusión e inyección. Se expusieron a intemperismo natural durante seis meses, luego de los cuales se registraron los siguientes valores en las propiedades mecánicas: un módulo de Young de 1246 MPa, una tensión máxima de 19,9 MPa, una tensión de fractura de 13,55 MPa y para impacto 9,24 J/m. Concluyeron que la resistencia mecánica de estos materiales sin ningún tipo de tratamiento de protección, se ven afectadas por la acción de la intemperie. Los compuestos con mayor

contenido de fibras presentan mayor rigidez, la cual inclusive aumenta con la exposición a la intemperie.

Yang *et al.* (2015) registró a los 180 días de intemperismo natural, una disminución muy similar en los valores de resistencia a la tensión (MOR) para las proporciones de 50/50 y 30/70, aproximadamente de 10,5 y 11 MPa. En cuanto al módulo de elasticidad (MOE) en ambas proporciones se incrementa en los primeros 90 días de exposición; luego de este tiempo se observa una disminución en la proporción 50/50, registrando a los 180 días un valor de 2,9 GPa aproximadamente. Mientras que para la proporción 30/70 recién se observa una disminución después de los 180 días, donde se registró un valor de 2,5 GPa aproximadamente.

Catto (2015) registró para compuestos de eucalipto/PP y pino/PP, una variación en la propiedad de tracción, obteniendo a los 3 meses de intemperismo, valores de MOE 420 MPa y 440 MPa, respectivamente; y valores de MOR 25 MPa para ambos compuestos. Luego a los seis meses de intemperismo los valores de MOE fueron 360 MPa y 380 MPa, respectivamente y valores de MOR 17,5 y 16,5 MPa, respectivamente. Así mismo se registró una variación en la propiedad de impacto, obteniendo a los 3 meses de intemperismo 150 y 155 J/m, respectivamente y a los seis meses de intemperismo 135 y 140 J/m, respectivamente. Este comportamiento ocurre como efecto directo de las condiciones ambientales que dan lugar al proceso de cristalización del polímero en el compuesto. Se forman grupos cromóforos en las regiones inter laminares y rotura de las cadenas del polímero lo que provoca pérdidas acentuadas en las propiedades mecánicas de tensión y resistencia al impacto, con el aumento del periodo de intemperismo.

Homkhiew *et al.* (2014) también expuso a intemperismo natural un compuesto a base de polipropileno y harina de madera de caucho, durante 360 días. Se observó una leve reducción en el MOR y MOE para flexión, en los primeros 120 días, lo que se evidenció luego de 180 días, con la cristalización del PP disminuye el MOR, mientras que la pérdida de MOE puede ser debido a los efectos negativos de la humedad durante el intemperismo (Stark y Matuana 2007). Así mismo, cuando se incrementó la proporción de harina los valores de MOR, MOE y máxima tensión se redujeron. Los valores registrados para una proporción de 45/51 luego de 180 días de exposición son los siguientes: un MOR aproximado de 42 MPa; un MOE aproximado de 2,4 GPa y una tensión máxima aproximada de 2,3 por ciento. Estas pérdidas relativas en las propiedades pueden ser debido

al incremento de agrietaduras las que disminuyen la transferencia de fuerzas de la madera a la matriz plástica.

Al respecto, Hung *et al.* (2012), al ensayar un compuesto bambú-plástico, registra que la cristalinidad del plástico dentro del compuesto se incrementa después del intemperismo natural, a los 120-240 días y luego se estabiliza. Este resultado indica que principalmente las escisiones de la cadena del polímero ocurren en ese periodo, produciendo cadenas cortas y móviles que les permite someterse a cristalizaciones secundarias. Cuando las escisiones de cadena continúan fomentándose, las regiones cristalizadas son afectadas y disminuye la cristalización (Stark y Matuana 2007).

Cárdenas (2012) luego de seis meses de intemperismo natural para compuestos Pino-PP, registra en flexión una disminución de los valores de MOE (837 MPa), comparado con los valores promedio iniciales (992 MPa). También se registró una disminución significativa en los valores de MOR (20 MPa) comparado con los valores promedio iniciales (25 MPa). Así mismo en tensión se registró una disminución en los valores de MOE (1418 MPa) comparado con los valores iniciales (1587 MPa). Estas variaciones en las propiedades se deben posiblemente a la degradación de la lignina y al rompimiento de las cadenas poliméricas del PP. Sin embargo, para los valores de MOR (24 MPa), se registraron incrementos comparado con los valores iniciales (21 MPa), debido posiblemente a un reordenamiento de las cadenas poliméricas. En cuanto a la resistencia al impacto, los compuestos presentaron una disminución (648 J/m) comparado con los valores iniciales (672 J/m).

Stark (1997) registra para tensión valores de MOR de 4,0 a 4,8 GPa para proporciones de 50/50 y MOE de 2,5 a 3,8 GPa para proporciones 70/30. Mientras que para flexión registra valores de MOR de 37 a 43 MPa para proporciones de 50/50 y de 41 a 47 MPa para proporciones de 30/70; y valores de MOE de 3,4 a 4,2 GPa para proporciones 50/50 y de 2,3 a 2,9 GPa para proporciones de 30/70. En cuanto a la resistencia al impacto, todos los especímenes experimentan un incremento en la energía de impacto con el incremento del contenido de harina de madera, sin embargo, cuando llega a 50 por ciento, la energía de impacto se estanca o empieza a disminuir.

Abu-Sharkh y Hamid (2004) expusieron durante 9 meses a intemperismo natural un compuesto fibra de palma/PP. A los 3 meses el compuesto presentó poca disminución en

fuerza en comparación con el PP. Las pérdidas de fuerza fueron más del 50 por ciento para el PP puro después de 9 meses de exposición. Sin embargo, se observó un pequeño aumento en la resistencia en largos tiempos de exposición a la intemperie, posiblemente debido a la adhesión interfacial mejorada por la degradación, como un resultado de la formación de grupos carbonilo en PP, los cuales son más compatibles con las fibras de celulosa de la superficie.

Joseph *et al.* (2002) registró después de 3 meses de intemperismo una disminución en la resistencia a la tracción de 23 por ciento para un compuesto con 30% de fibra de sisal, mientras que en las muestras de PP puro se registró una disminución del 92%. Con valores finales de 30 MPa y <5MPa, respectivamente. Esta reducción en las propiedades mecánicas se debe a la escisión de cadenas y a la degradación que sufrieron las moléculas de PP durante la exposición a la radiación. Además, se observa que las muestras de PP son frágiles después de 3 meses de exposición, debido a la formación de grietas en la superficie, por el estrés térmico.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LUGAR DE MUESTREO

La colección de muestras de bambú se realizó en una plantación de *Guadua angustifolia* localizada en el caserío Limoncito del distrito La Florida, en la provincia San Miguel, en el departamento de Cajamarca; perteneciente a la cuenca media del Río Zaña, vertiente del pacífico (Llerena 2008).

2. LUGAR DE EJECUCIÓN

La elaboración del compuesto bambú-plástico y sus respectivos ensayos se llevaron a cabo en los laboratorios de Transformación Química, Secado y Propiedades Físico-Mecánicas de la madera del Departamento de Industrias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Como parte del proceso de acondicionamiento de la materia prima la extrusión se llevó a cabo en el laboratorio del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) y el primer molido de las cañas de bambú se llevó a cabo en el área de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia de la UNALM. Los ensayos de tensión e impacto se llevaron a cabo en el laboratorio de Propiedades de la empresa Fibraforte ubicada en Lima.

El ensayo de intemperismo se llevó a cabo en dos distritos del departamento de Lima, Perú. Los puntos de ubicación se encuentran cerca a las estaciones meteorológicas de cada lugar, ver Figura 14. Con coordenadas:

- Chosica (Lurigancho) a 11°55'07,75" latitud Sur y 76°40'04,90" longitud Oeste con elevación 954 m.
- La molina: 12°04'42.49" latitud Sur; 76°56'46,00" longitud Oeste; elevación 245 m.



Figura 14: Lugares de ubicación del ensayo de intemperismo.

FUENTE: Adaptado de SENAMHI (2016a).

3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1. MATERIA PRIMA

- **Partículas:** Se utilizaron partículas provenientes de la parte apical de cañas maduras de *G. angustifolia*.
- **Matriz polimérica:** Se utilizaron partículas de Polipropileno homopolímero, con un índice de fluidez de 2,16 kg/230 °C: 12 g/10 min y una temperatura de fusión de 160 °C.
- **Aditivo:** Se utilizó como agente acoplante, partículas de Anhídrido maléico de polipropileno (MAPP) con una temperatura de fusión de 167 °C.
- **Insumo:** Se utilizó Silicona de emulsión 35 por ciento, como des acoplante y agua corriente para el enfriado durante la elaboración de los tableros y agua destilada en la evaluación de propiedades físicas del material compuesto.

3.2. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Para la colección de muestras:

- Libreta de campo, lápices, plumón indeleble y etiquetas
- Wincha de 10 m
- Sierra de arco
- Costales, aguja y pabilo
- Balanza romana electrónica CAMRY con 50 kg de capacidad y 50 g de precisión.

Para la obtención de partículas:

- Machete
- Horno de secado para madera
- Molino industrial de cuchillas de 1750 rpm
- Molino de cuchillas Budapesti Vegyipari Gepgyar de 2830 rpm
- Bolsas de tela
- Zaranda vibratoria Maccinox de 1700 rpm y tamices ASTM (abertura de malla): 40 (0,43 mm) y 60 (0,25 mm) con fondo y tapa
- Bolsas de polietileno Ziploc
- Bandejas de aluminio de 39 x 29 x 4 cm
- Estufa para secado Labor Múszéripari

Para la obtención de pellets bambú-plástico extruídos:

- Balanza electrónica de cocina Camry con 5 kg de capacidad y 01 g de precisión
- Extrusora de usillo simple de 55 W de potencia

Para la elaboración de tableros del compuesto bambú-plástico:

- Balanza analítica Henkel con 250 g de capacidad y 0,1 mg de precisión
- Dos Marcos de acero de 21 x 21 x 0,25cm y 4 láminas de acero de 32 x 32 x 0,21 cm
- Prensa hidráulica de Vulcanizado de caucho Tramelsa de 60 Tn
- Guantes reflectantes y paños de tela

Para el ensayo de intemperismo:

- Dos mesas de madera con dimensiones 0,7 x 0,7 x 1,2 m y superficie de malla plástica.
- Dos bastidores de madera, con un ángulo de 45 °C con respecto a la horizontal, con dimensiones 0,7 x 1,4 x 1,2 m y superficie de malla plástica.
- Hilo de pescar y aguja punta roma
- Escalera metálica y papel periódico

Para los ensayos físico-mecánicos:

- Colorímetro portátil Lovibond (Datacolor DF 110)
- Rugosímetro Mitutoyo
- Vernier digital Mitutoyo con 0,02 mm de precisión
- Desecador de sílica gel
- Máquina universal para ensayos mecánicos Zwick/Roell y accesorios
- Prensa Universal Tyinius Olsen con 60000 lb de capacidad, accesorios y deflectómetro con 1" (2,54 cm) de carrera y 0,001" (0,00254 cm) de aproximación
- Máquina para ensayos de impacto
- Baldes de plástico con capacidad de 20 litros y malla metálica

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Se procedió de acuerdo al diagrama de flujo indicado en la Figura 15.

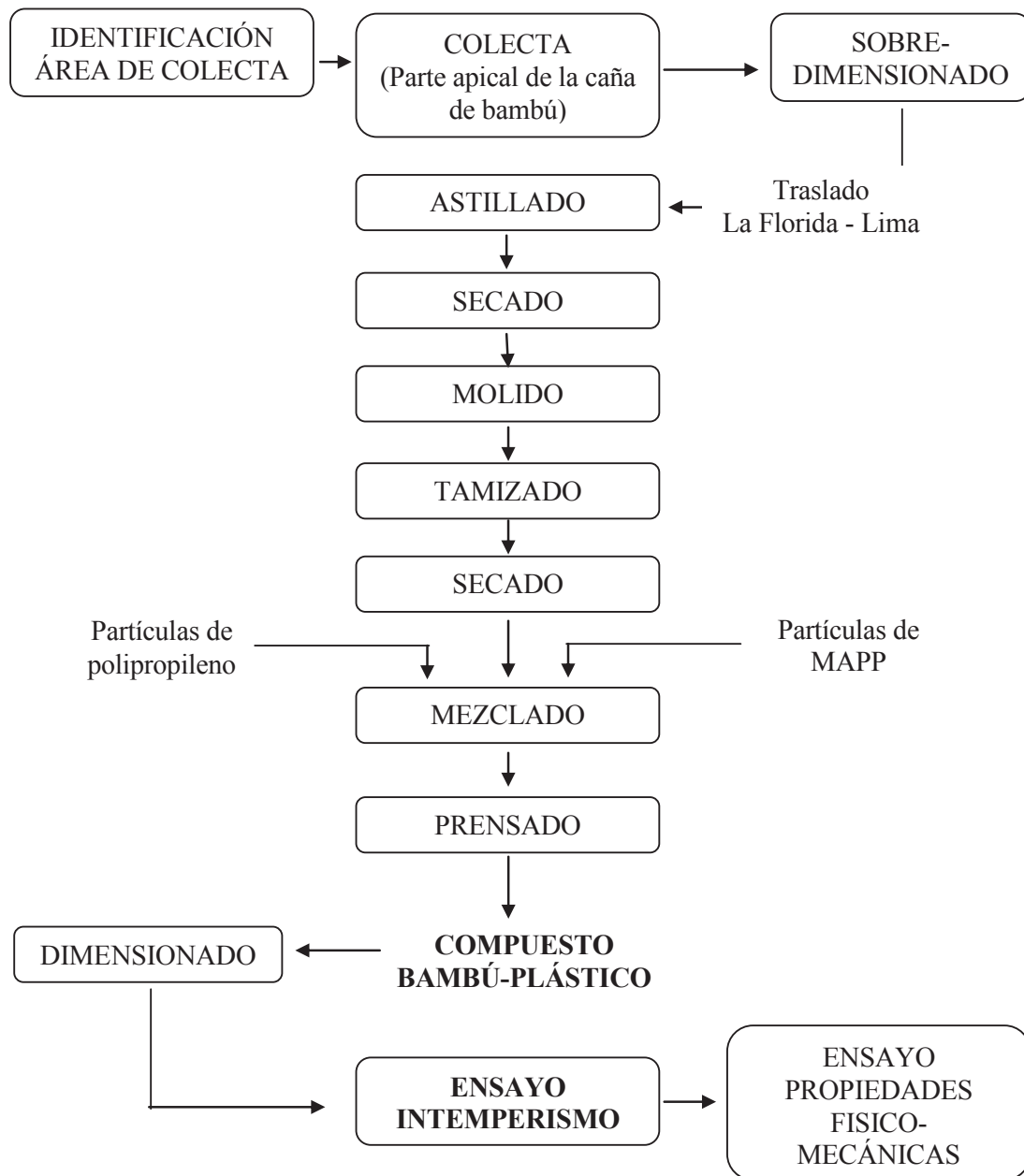


Figura 15: Diagrama de flujo de la metodología a seguir para la obtención del material compuesto bambú-plástico.

FUENTE: elaboración propia.

Las etapas del procedimiento seguido, se explican a continuación.

4.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE BAMBÚ

La recolección de muestras se realizó durante el aprovechamiento de cañas de *Guadua angustifolia*, ver Figura 16. La muestra que se recolectó corresponde a la parte apical, considerada como residuo, de las cañas maduras de guadua las cuales alcanzan su madurez entre los cuatro y seis años (Cruz 2009); y se las puede reconocer porque en esta etapa el culmo pierde su coloración verde intensa, a una verde amarillenta y por lo general aparecen manchas de color blanco o gris (Proyecto Corpei-CBI 2003).

Luego de recolectar las cañas se procedió a cortarlas, con una sierra de arco, en secciones manejables de 0,85cm de largo, para finalmente almacenarlas en costales, pesarlas y transportarlas a la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.



Figura 16: Recolección y acondicionamiento para el transporte de cañas de *Guadua angustifolia*

FUENTE: elaboración propia.

4.2. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS

Los trozos de caña obtenidos fueron cortados longitudinalmente, obteniendo cuatro secciones por trozo de caña, ver Figura 17

Las secciones de caña obtenidas fueron llevadas y apiladas en el horno de secado para madera, ver Figura 18, y se utilizó un ciclo de secado hasta obtener un contenido de humedad de 12 por ciento, el cual se determinó por diferencia de pesos.



Figura 17: Obtención de secciones de cañas de guadua

FUENTE: elaboración propia.



Figura 18: Secciones de caña de guadua apiladas en el horno de secado

FUENTE: elaboración propia.

4.3. OBTENCIÓN DE PARTÍCULAS

Las secciones de caña secas fueron procesadas en dos etapas de molido. La primera etapa se realizó en un molino de cuchillas industrial en la que podían entrar las secciones de caña enteras, y en la segunda etapa las partículas obtenidas pasaron por un molino de cuchillas de 2830 rpm para obtener partículas más pequeñas.

Las partículas obtenidas fueron almacenadas en tinas para luego ser tamizadas utilizando tamices ASTM -20/+40, abertura de malla 0,43 mm y ASTM -40/+60, abertura de malla 0,25mm. Luego se seleccionaron las partículas que quedaron en la malla ASTM 60.

Dittenber y GangaRao (2012) indican que, si las fibras se secan adecuadamente antes de la mezcla con la matriz termoplástica, se obtendría una mejor adhesión interfacial y se limitaría la absorción de humedad a futuro, debido a la falta de lugares de adhesión con los hidroxilos disponibles. Al respecto, Leong *et al.* (2014) recomienda que las fibras naturales sean secadas a fondo para que el contenido de humedad sea menor que el 3 por ciento, ya que la tasa de absorción de humedad es muy alta en fibras naturales. Por este motivo, las partículas seleccionadas fueron pesadas y colocadas en bandejas de aluminio para secarlas en una estufa hasta llegar a un contenido de humedad de 2 por ciento.

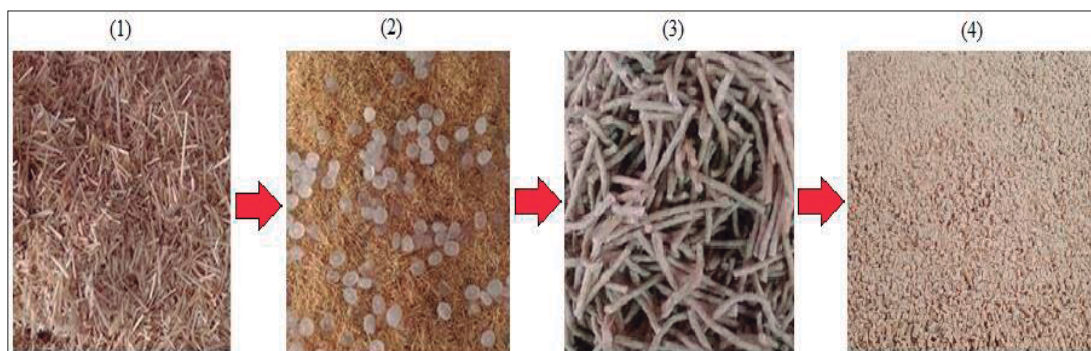
4.4. MEZCLADO Y EXTRUSADO

El proceso de mezclado empezó con la mezcla manual de las partículas de polipropileno, MAPP y bambú. Las proporciones de las mezclas se observan en la Tabla 8. Luego las mezclas fueron llevadas a las instalaciones del IPEN para realizar el proceso de extrusado, el cual se realizó a una temperatura de 175 a 185 °C y a una velocidad de 30 rpm. Seguidamente se molieron los pellets del material extrusado para que el moldeado de los tableros fuera más homogéneo, ver Figura 19.

Tabla 8: Proporciones de mezcla para el compuesto bambú-plástico

Mezcla	Partícula de guadua (%)	Polipropileno (%)	Agente acoplante MAPP (%)	Partícula (ASTM)
1	30	68	2	40 / 60
2	50	48	2	40 / 60

FUENTE: elaboración propia.



(1) Partículas secas de guadua, (2) mezcla de las partículas de guadua y polipropileno, (3) pellets de la mezcla extruida, (4) partículas del material extruido listas para ser prensadas.

Figura 19: Obtención del material extrusado

FUENTE: elaboración propia.

4.5. PRENSADO

El proceso se inició con la programación de las variables de trabajo en la prensa hidráulica, ver Tabla 9. Para ello, se tuvo en cuenta el punto de fusión del polipropileno, la temperatura máxima que el componente lignocelulósico soporta antes de degradarse y las recomendaciones de Lucana (2008), que indican una presión específica para materiales compuestos de 0,69-1,72 MPa y un tiempo de prensado lo más corto posible. Se utilizaron como moldes, dos marcos de acero de 21 x 21 cm y cuatro placas de acero de 31 x 31 cm, ver Figura 20 (2).

Tabla 9: Condiciones de trabajo durante el proceso de prensado

<i>Temperatura plato superior (°C)</i>	<i>Temperatura plato inferior (°C)</i>	<i>Presión programada (bar)</i>	<i>Presión específica (MPa)</i>	<i>Tiempo de prensado (min)</i>
180	177	40	0,71	5

FUENTE: elaboración propia.

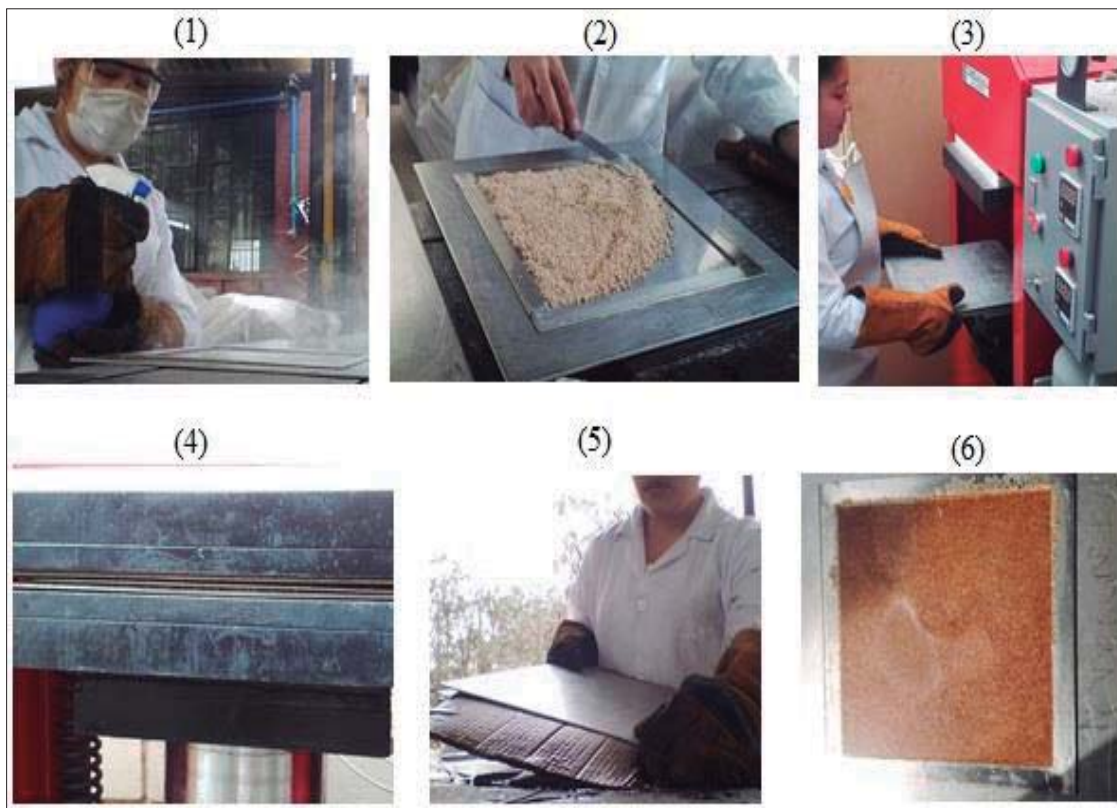
Luego que la prensa alcanzó la temperatura deseada se procedió de la siguiente manera, ver Figura 20. Primero se colocaron los moldes de acero en las placas de la prensa para la etapa del pre calentamiento, paralelo a esto el material extrusado fue pesado y colocado en una estufa a 100 °C. Seguidamente, el molde ya caliente se impregnó con el des-acoplante. Leong *et al.* (2014) recomienda que la mezcla se transfiera desde el horno de secado al molde de compresión con una mínima exposición a las condiciones ambientales. Por ello, el material extruido seco al horno se vertió en el molde y se colocó en la prensa, todo este procedimiento debería realizarse en menos de 10 minutos.

Finalmente, el molde con el material extrusado se comprimió durante cinco minutos a las condiciones antes mencionadas, se abrieron los platos de la prensa en los minutos 2 y 3 para deshumidificar el tablero y evitar mayor presencia de burbujas.

4.6. ENFRIADO Y DESMOLDADO

Inmediatamente después que terminó el prensado del material compuesto, se extrajo el moldé caliente con el tablero elaborado y se llevó al área destinada para el enfriamiento, ver Figura 20 (5). Primero se colocó en una mesa cartones humedecidos, luego sobre ellos se colocó el molde caliente y sobre él nuevamente cartones humedecidos; finalmente se quitaron los cartones y se siguió humedeciendo el molde con paños húmedos.

El proceso de desmoldado se realizó luego de enfriar los moldes durante unos 5 minutos. Con ayuda de un alicate se abrieron las placas de acero o en algunos casos estos se abrieron automáticamente. Luego el tablero se desmoldó del marco de acero y se colocó entre placas de acero frías para que no se curve, se etiquetaron y almacenaron en bolsas Ziploc.



(1) Impregnación del desmoldante sobre las placas y marco precalentados; (2) esparcimiento de la mezcla extruida siguiendo la forma del marco; (3) colocación de las placas con la mezcla extruida en la prensa; (4) prensado de la mezcla extruida; (5) enfriado de las placas; (6) desmoldado del tablero.

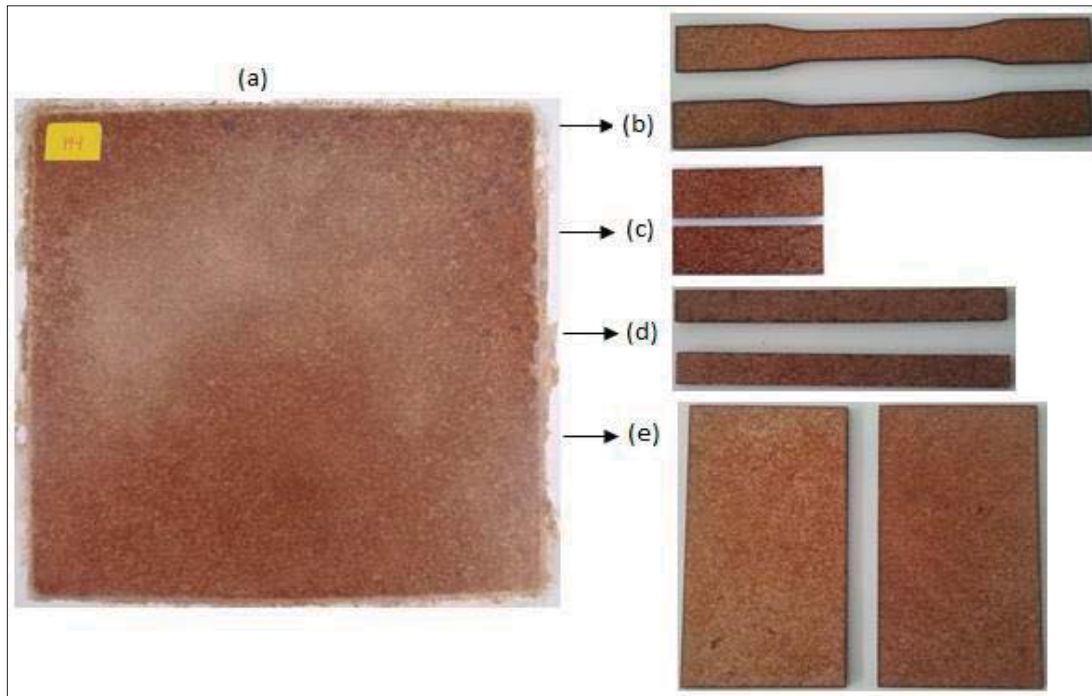
Figura 20: Proceso de obtención de tableros del compuesto bambú-plástico.

FUENTE: elaboración propia.

4.7. DIMENSIONADO DE LAS PROBETAS

Los tableros del compuesto bambú-plástico obtenidos después del prensado fueron dimensionados según las normas técnicas específicas para cada ensayo físico-mecánico: Hinchamiento y absorción según norma ASTM D570-98 (2010), ASTM D1037-99 para densidad, ASTM D790-03 para flexión, ASTM D638-03 para tensión y ASTM D5420-04 para impacto. Para el color y rugosidad se utilizaron las probetas de densidad e impacto, respectivamente.

Luego de elaborar la distribución de probetas dentro del tablero de 21 x 21cm, utilizando la herramienta de Autocad; los tableros fueron dimensionados utilizando servicios de corte laser. Las probetas ya cortadas para cada ensayo fueron lijadas, para luego medirlas y pesarlas según los requerimientos de cada propiedad a evaluar, ver Figura 21.



(a) Tablero prensado; (b) probetas para ensayos de tensión; (c) probetas para ensayos físicos; (d) probetas para ensayos de flexión; (e) probetas para ensayos de tensión.

Figura 21: Muestras del compuesto bambú-plástico

FUENTE: elaboración propia.

4.8. ENSAYO DE INTEMPERISMO

El ensayo de intemperismo se realizó durante un periodo de seis meses, siguiendo la norma ASTM D1435 (2015). Las variables de ensayo fueron: dos lugares de exposición con condiciones ambientales diferentes, La Molina y Chosica, y dos inclinaciones durante la exposición del material compuesto, 45 grados y 0 grados, con respecto a la horizontal.

4.8.1. TAMAÑO DE MUESTRA

La distribución de las probetas del compuesto bambú-plástico se muestra en la Tabla 10. En total se expusieron al intemperismo 384 probetas del compuesto bambú-plástico. Considerando las dos proporciones de formulación, se destinaron por cada lugar de

exposición: 28 probetas para los ensayos físicos, 40 probetas para el ensayo de impacto, 14 probetas para el ensayo de flexión y 14 probetas para el ensayo de tensión.

4.8.2. ÁNGULO DE EXPOSICIÓN

Los ángulos de exposición a la intemperie de las probetas del compuesto bambú-plástico fueron de 45° y 0° con respecto a la horizontal, ver Figura 22.

Tabla 10: Variables de estudio durante el ensayo de intemperismo en Chosica y La Molina.

N° de probetas para ensayos físico-mecánicos					Bloque	Tratamiento			
Físicas		Mecánicas			Lugar exposición	Ángulo exposición	Sub-total	Formulación	Total prob.
Abs/Hinch.	Densidad	Impacto	Tensión	Flexión					
7	7	20	7	7	2	2	192	2	384

FUENTE: Elaboración propia.



a) Mesa a 0° de inclinación, b) Parante a 45° de inclinación

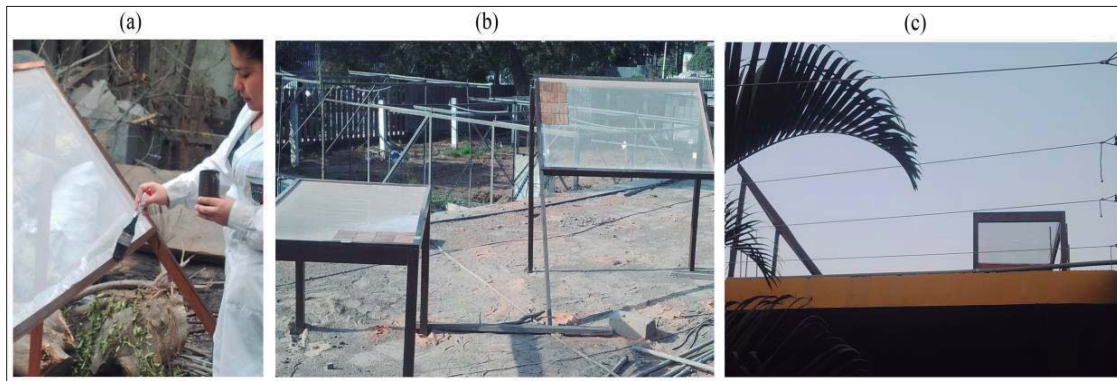
Figura 22: Ángulo de inclinación de las mesas, para la exposición a la intemperie de las muestras del compuesto bambú-plástico.

FUENTE: elaboración propia.

4.8.3. PROCEDIMIENTO

Primero se implementaron dos mesas y dos caballetes de madera, con una superficie de malla de plástico blanca. Luego las mesas y caballetes fueron pintados y laqueados para que no se deterioraran durante el ensayo de intemperismo, ver Figura 23 (a).

Luego se realizó la limpieza y acondicionamiento de los ambientes donde se realizó la exposición y se trasladaron las mesas caballetes a sus lugares de destino, La Molina y Chosica. Se colocaron sobre el techo de una primera planta, con dirección al Sur y se aseguraron firmemente para que no fueran afectadas por el viento, ver Figura 23 (b) y (c).

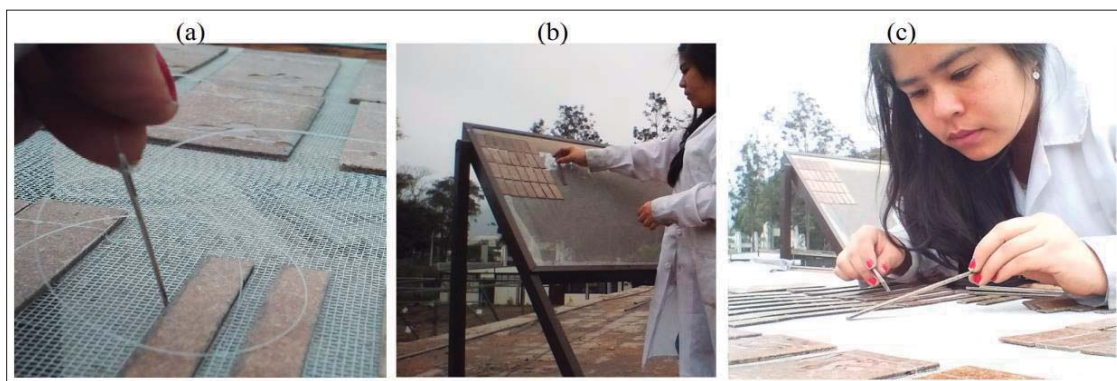


(a) pintado y laqueado, (b) implementación en La Molina, (c) implementación en Chosica.

Figura 23: Acondicionamiento de mesas y caballetes para el ensayo de intemperismo.

FUENTE: elaboración propia.

Las probetas del compuesto bambú-plástico fueron codificadas, marcadas, pesadas, medidas y analizadas con el colorímetro antes de la exposición para tener los datos base del ensayo y se trasladaron a los lugares de exposición. Finalmente, las probetas fueron sujetadas sobre las mallas de las mesas y caballetes, con ayuda de hilo de nylon y aguja de cocer, para evitar que el viento las mueva (Figura 24).



(a) Probetas sujetas con ayuda de aguja e hilo nylon; (b) a 45 grados en el parante; (c) a 0 grados en la mesa.

Figura 24: Colocación y adhesión de las muestras del compuesto bambú sobre las mallas de plástico.

FUENTE: elaboración propia.

Las evaluaciones que se realizaron durante el ensayo de intemperismo fueron cada 14 días y se midieron las coordenadas de color de las probetas, para ello se extrajeron una muestra de 7 probetas por proporción y variable. En el caso de Chosica, las probetas se colocaron en bolsas ziploc con periódico previamente ambientado y se trasladaron al Laboratorio de Transformación Química de la Madera-UNALM, para sus evaluaciones respectivas. Luego se regresaron rápidamente al lugar de exposición. En el caso de La Molina no existieron inconvenientes con el traslado y se utilizaron sólo bolsas ziploc.

4.8.4. CONTROL DE LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

Los datos de las condiciones climatológicas fueron proporcionados por las oficinas de atención al cliente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Las estaciones utilizadas fueron la estación Chosica y Von Humboldt (Figura 14).

El control de los datos climatológicos se realizó cada 14 días, paralelo a las evaluaciones de las probetas expuestas al intemperismo. Los factores climatológicos considerados en las evaluaciones fueron: temperatura máxima y mínima diaria, en (°C); humedad relativa diaria, en (%) y precipitación diaria, en (mm). En la Tabla 11 se muestran las fechas de evaluación según el lugar de exposición.

Tabla 11: Fechas de evaluación de condiciones climatológicas durante el intemperismo.

Año	N° evaluación	La Molina	Chosica
2015	1	17-ago	19-ago
	2	31-ago	02-set
	3	14-sep	16-set
	4	28-sep	30-set
	5	12-oct	14-oct
	6	26-oct	28-oct
	7	09-nov	11-nov
	8	23-nov	25-nov
	9	07-dic	09-dic
	10	21-dic	23-dic
2016	11	04-ene	06-ene
	12	18-ene	20-ene
	13	01-feb	03-feb
	14	15-feb	17-feb

FUENTE: elaboración propia.

4.9. EVALUACIÓN DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO

La evaluación del aspecto superficial se realizó durante el proceso del ensayo de intemperismo, mientras que las evaluaciones de las propiedades físico-mecánicas se realizaron luego de seis meses de exposición a la intemperie y luego de retirar definitivamente todas las probetas de las locaciones de exposición.

4.9.1. FORMULACIONES

Para efectos de evaluación de las propiedades físico-mecánicas del compuesto bambú-plástico, en la Tabla 12 se muestran las formulaciones del compuesto expuesto al intemperismo.

Tabla 12: Formulaciones.

Formulación	Partícula ASTM	% bambú	% plástico con 2% de MAPP	Lugar de exposición	Ángulo de exposición
F1	-40/+60	30	68	Chosica	0°
F2	-40/+60	50	48	Chosica	0°
F3	-40/+60	30	68	Chosica	45°
F4	-40/+60	50	48	Chosica	45°
F5	-40/+60	30	68	La Molina	0°
F6	-40/+60	50	48	La Molina	0°
F7	-40/+60	30	68	La Molina	45°
F8	-40/+60	50	48	La Molina	45°

FUENTE: elaboración propia.

4.9.2. ASPECTO SUPERFICIAL

a. Color

Las evaluaciones de color se realizaron cada 14 días, durante el proceso de ensayo de intemperismo. La evaluación del color se realizó mediante un colorímetro portátil. El aparato fue configurado para la utilización de fuente de luz (ambiente) D65 y ángulo de observación 10°, de acuerdo a los patrones establecidos por el sistema CIELAB.

Antes del ensayo de intemperismo las probetas para ensayos físicos fueron codificadas y marcadas con un plumón indeleble, indicando la zona de la probeta en la que se midió el color, ver Figura 25.

Como primer paso, se realizó una medición de todos los tableros del compuesto bambú-plástico destinados a las propiedades físicas y se determinó el color estándar en el equipo que sirvió de base para las siguientes evaluaciones.



Figura 25: Probeta para ensayos físicos: zona marcada para la medición de color.

FUENTE: elaboración propia.

Las mediciones se realizaron en el mismo lugar marcado para cada muestra y en la cara expuesta a los rayos solares. El colorímetro registraba directamente los valores de a^* , b^* y L^* . Según el sistema CIELAB, la variación del color durante el tiempo de exposición se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

b. Rugosidad

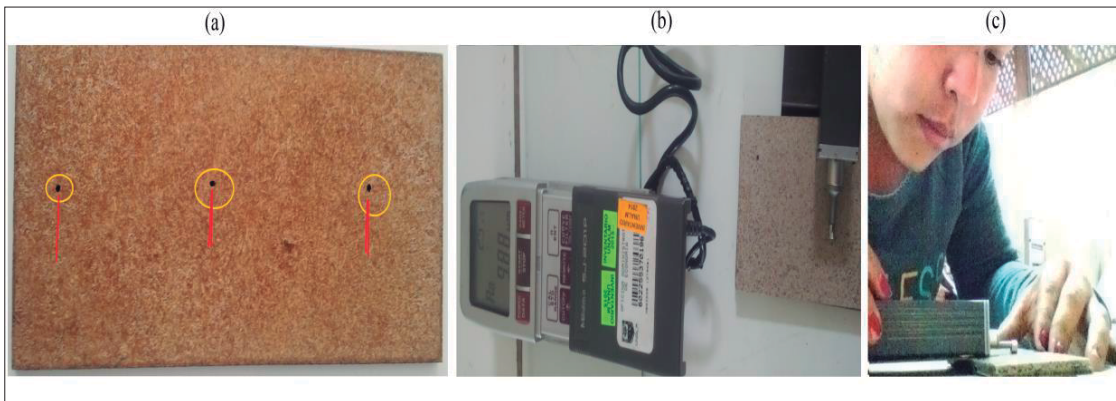
Las evaluaciones de rugosidad se realizaron siguiendo el método de detección por aguja o método por contacto, utilizado con la misma finalidad en el estudio realizado por Aguilar (2008).

Las probetas utilizadas para esta evaluación fueron las destinadas para el ensayo de impacto por presentar mayor superficie y de esta forma tener una correcta lectura. Se seleccionaron tres probetas de cada formulación.

El aparato de medida utilizado fue el Tester de rugosidad por contacto tipo stylus modelo Mitutoyo. Las evaluaciones se realizaron en tres ocasiones, al inicio, a la mitad y al final del tiempo de exposición.

Las lecturas dentro de la probeta fueron como se muestra en la Figura 26, considerando tres recorridos fijos, los cuales se midieron en las tres ocasiones. Además, el parámetro a

considerarse en las lecturas fue la media aritmética (R_a) expresado en micras (μm), con la cual se desarrollaron las comparaciones para caracterizar el compuesto bambú-plástico.



(a) probeta marcada, (b) rugosímetro utilizado, (c) medición de la rugosidad.

Figura 26: Rugosidad del compuesto bambú-plástico.

FUENTE: elaboración propia.

4.9.3. PROPIEDADES FÍSICAS

a. Hinchamiento y absorción

El ensayo de hinchamiento y absorción se efectuó siguiendo la norma técnica ASTM D570-98 (2010). Inmediatamente después de acondicionar las probetas se sujetaron a una malla de aluminio de 30 cm de largo x 5 cm de ancho. Luego las mallas con las probetas fijas se sumergieron en cinco litros de agua destilada dentro de baldes plásticos de 20 litros.

Las mediciones de la variación del peso y espesor de las probetas, se realizó a las dos horas y a las 24 horas de sumergidas. Para el cálculo del hinchamiento se tuvo en cuenta la variación del espesor de las probetas durante el tiempo que estuvieron sumergidas y para el cálculo de la absorción se tuvo en cuenta la variación en peso de las probetas durante el tiempo que estuvieron sumergidas.

b. Densidad y contenido de humedad

El ensayo de densidad se realizó siguiendo la norma técnica ASTM D1037 (1999). Se colocaron en la estufa a 100 °C hasta alcanzar el peso seco, para ello las evaluaciones se realizaron cada cierto tiempo, comparando los pesos hasta que ya no haya disminución de los mismos.

4.9.4. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las probetas destinadas a la evaluación de las propiedades mecánicas fueron acondicionadas durante 48 horas a una humedad relativa de 50 por ciento, para tener condiciones homogéneas al momento de ser ensayadas.

a. Flexión

El ensayo de flexión se realizó siguiendo la norma técnica ASTM D790 (2003) y se realizó en una prensa Tinus Olsen.

b. Tensión

El ensayo de tensión se efectuó siguiendo la norma técnica ASTM D638 (2003). Las probetas del compuesto bambú-plástico acondicionadas fueron colocadas en bolsas ziploc selladas y fueron enviadas a una empresa colaboradora para realizar el ensayo.

c. Impacto

El ensayo de impacto se realizó siguiendo la norma técnica ASTM D5420 (2004). Las probetas del compuesto bambú-plástico acondicionadas fueron colocadas en bolsas ziploc selladas y fueron enviadas a una empresa colaboradora para realizar el ensayo.

5. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se desarrolló utilizando el modelo estadístico de diseño en bloques completamente al azar (DBCA) en arreglo factorial. Con dos bloques (lugar) y arreglo factorial de 2 x 2 (ángulo de inclinación y proporción bambú/plástico). Se utilizaron siete repeticiones para los ensayos de color, contenido de humedad, densidad, absorción, hinchamiento, tensión y flexión. Para los ensayos de rugosidad e impacto varía el número de repeticiones en 3 y 20, respectivamente. En la Tabla 13 se muestra el diseño experimental de los tratamientos empleados.

Se utilizó el análisis de variancia (ANVA) para determinar la significancia de los efectos de los tratamientos, considerando en diseño estadístico planteado, un intervalo de confianza del 95 por ciento y un margen de error del 0,05 por ciento.

Además, se utilizó la prueba Tukey para la comparación múltiple de medias. Finalmente se procesaron los datos con ayuda del programa SAS. Los valores obtenidos en el análisis se muestran en los anexos.

Tabla 13: Diseño experimental de los tratamientos utilizados para el análisis estadístico de las propiedades físico-mecánicas.

Bloque	Variables		Tratamientos	Propiedades físico-mecánicas								
	Ángulo de inclinación	Proporción bambú/plástico		Color	Rugosidad	Contenido humedad	Densidad	Hinchamiento	Absorción	Flexión	Tensión	Impacto
Chosica	0°	30/70	CH A0 P3070	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Chosica	0°	50/50	CH A0 P5050	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Chosica	45°	30/70	CH A45 P3070	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Chosica	45°	50/50	CH A45 P5050	x	x	x	x	x	x	x	x	x
La Molina	0°	30/70	LM A0 P3070	x	x	x	x	x	x	x	x	x
La Molina	0°	50/50	LM A0 P5050	x	x	x	x	x	x	x	x	x
La Molina	45°	30/70	LM A45 P3070	x	x	x	x	x	x	x	x	x
La Molina	45°	50/50	LM A45 P5050	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Dónde: CH, Chosica; LM, La Molina; A, ángulo de inclinación; P, proporción bambú-plástico.

FUENTE: elaboración propia.

El modelo estadístico del DBCA con arreglo factorial, fue el siguiente:

$$Y_{ijk_l} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + \varepsilon_{ijk_l}$$

Donde:

μ : La media general

α_i : Efecto del i-ésimo ángulo de exposición

β_j : Efecto de la j-ésimo proporción de bambú/plástico

$(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de la interacción doble del ángulo de exposición y la proporción bambú/plástico

γ_k : Efecto del lugar de exposición

ε_{ijk_l} : Efecto del error aleatorio en la combinación del ángulo de exposición, proporción bambú/plástico y el lugar de exposición

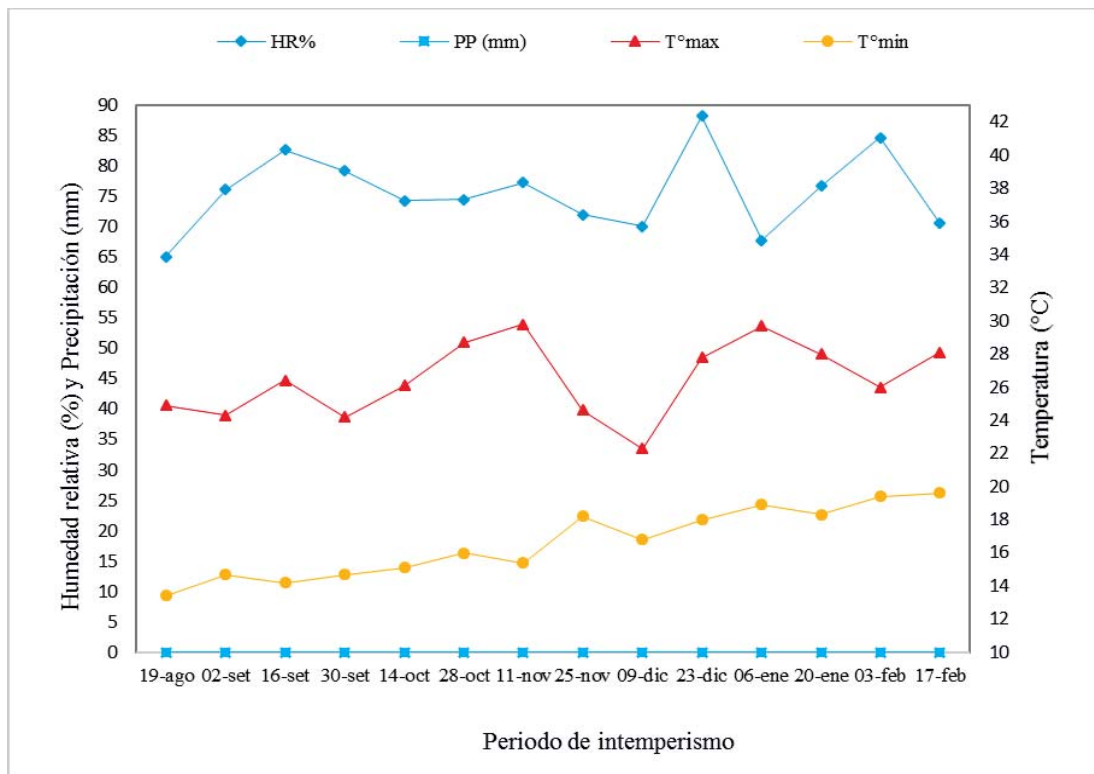
l : Número de repeticiones

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Durante el periodo de exposición del compuesto bambú-plástico, los parámetros ambientales de temperatura, humedad relativa y precipitación utilizados, así como las fechas de evaluación se presentan en las Figuras 27 y 28.

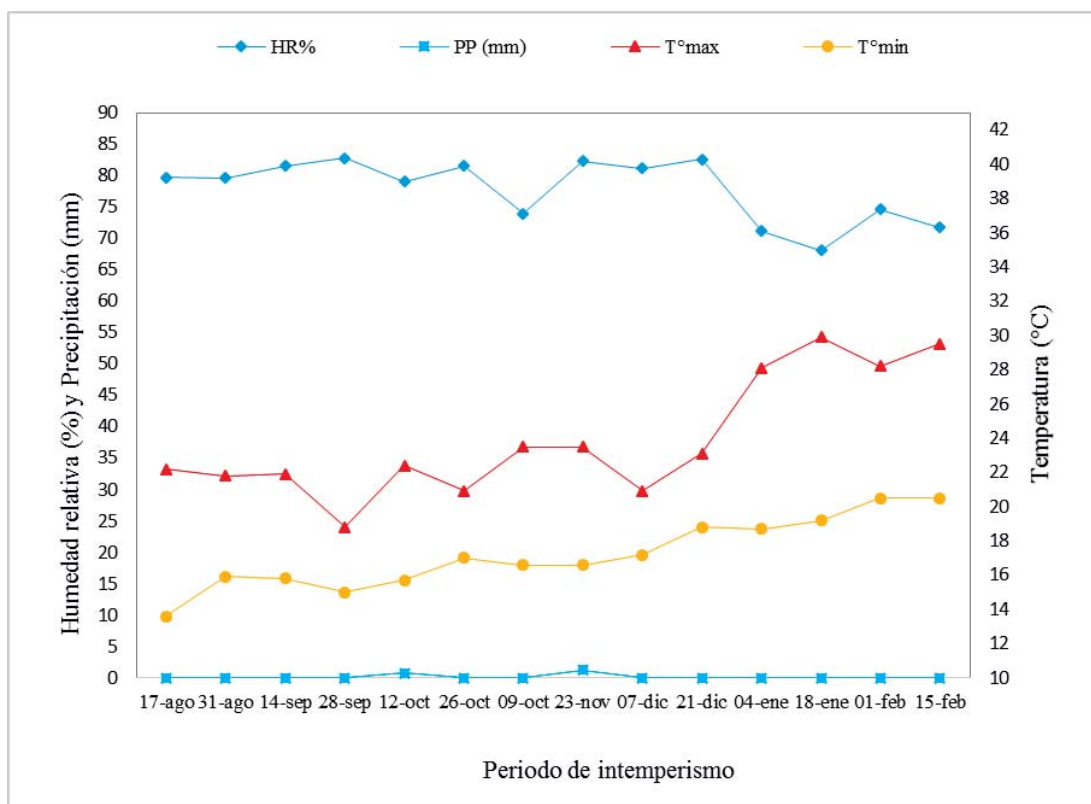
El ensayo inició en La Molina el día 17 de agosto del 2015 y se retiraron las últimas probetas el día 15 de febrero del 2016. Mientras que, en Chosica, se inició el día 19 de agosto del 2015 y finalizó el 17 de febrero del 2016.



Donde: (HR%) Humedad relativa, (PP) precipitación, (T°máx) temperatura máxima y (T°min) temperatura mínima.

Figura 27: Condiciones climáticas de Chosica durante el periodo de intemperismo

FUENTE: Adaptado de Senamhi 2016b.



Donde: (HR%) Humedad relativa, (PP) precipitación, (T°máx) temperatura máxima y (T°min) temperatura mínima.

Figura 28: Condiciones climáticas de La Molina durante el interperismo

FUENTE: Adaptado de Senamhi 2016a.

De acuerdo a las Figuras 27 y 28 se puede verificar que, la humedad relativa en la molina se mantiene elevada en los primeros meses de exposición, de agosto a diciembre, con valores alrededor de 80 por ciento, recién estos valores disminuyen en los dos últimos meses de exposición, de fines de diciembre a febrero, pero no bajan del 70 por ciento aproximadamente. Sin embargo, en Chosica, la humedad relativa en los meses de exposición se mantiene entre 65 y 75 por ciento, a partir de diciembre empieza a presentar picos de hasta 85 por ciento.

La temperatura máxima para la molina en los primeros meses de exposición, de agosto a diciembre, fluctúan entre 18 y 23 grado centígrados; Las cuales son bajas en comparación a Chosica, quien presenta en esos meses temperaturas máximas de entre 22 a 30 grados centígrados. En los meses de enero y febrero las temperaturas de ambos lugares se asemejan manteniendo rangos de 26 y 30 grados centígrados. Debido al fenómeno del niño, que eleva la temperatura del aire por efecto de los incrementos de temperatura del mar a partir del mes de

diciembre (Rodríguez 2015). Así mismo, las temperaturas mínimas en ambos lugares se mantienen en el rango de 14 y 20 grados centígrados.

Por otro lado en Chosica no se presentó registro de precipitaciones en las fechas de evaluación, esto debido a que meses anteriores se presentó lluvias intensas en la zona. Por otro lado, en la Molina si se registraron presencia de lluvias en los meses de octubre y noviembre.

En cuanto a la radiación se consideraron los datos históricos, ver Tabla 5, para considerar un comportamiento similar en los lugares de exposición. Chosica presenta mayores valores de radiación durante el periodo de exposición, entre 5 y 7,5 kWh/m², incrementándose progresivamente desde agosto ha enero. Por otro lado, en La Molina se presentan valores cercanos entre 4,5 y 6,5 kWh/m².

2. ASPECTO SUPERFICIAL

2.1. VARIACIÓN DEL COLOR

En la Tabla 14 se presentan los resultados promedio obtenidos de las variaciones de color del compuesto bambú-plástico, luego de seis meses de intemperismo. Así mismo, en la Tabla 15 se presentan los valores del análisis de variancia y en la Tabla 16 los valores de la comparación múltiple de medias resultantes por medio de la prueba Tukey.

Tabla 14: Resultados promedio y desviaciones estándar de las variaciones de color del compuesto bambú-plástico.

<i>Formulación</i>	<i>Lugar de exposición</i>	<i>Ángulo de exposición (°)</i>	<i>Proporción bambú/PP</i>	<i>Color (ΔE)</i>
F1	Chosica	0	30/70	26,4 [0,6]
F2	Chosica	0	50/50	24,3 [1,0]
F3	Chosica	45	30/70	24,0 [0,6]
F4	Chosica	45	50/50	21,7 [1,2]
F5	La Molina	0	30/70	23,1 [2,2]
F6	La Molina	0	50/50	20,2 [1,9]
F7	La Molina	45	30/70	22,8 [0,7]
F8	La Molina	45	50/50	19,6 [1,4]

ΔE : Variación de color.

Tabla 15: Valores del análisis de variancia de los resultados de color del compuesto bambú-plástico.

Fuente de variabilidad	G.L.	Color ΔE	
		p-valor	Significancia
L	1	<,0001	**
A	1	0,0005	**
P	1	<,0001	**
L*A	1	0,0135	**
L*P	1	0,2743	N.S
A*P	1	0,7065	N.S
L*A*P	1	0,9482	N.S
C.V.		5,295	

Donde: (ΔE) Variación de color, (L) efecto del bloque lugar de exposición, (A) efecto principal del ángulo de inclinación durante la exposición, (P) efecto principal del factor proporción bambú-plástico, (L*A) efecto entre la doble interacción del lugar y ángulo de exposición, (L*P) efecto entre la doble interacción del lugar y proporción, (A*P) efecto entre la doble interacción del ángulo y la proporción, (L*A*P) efecto entre la triple interacción del tamaño del lugar, ángulo y proporción. (CV) coeficiente de variabilidad, (n.s.) no significativo, (*) significativo (**) muy significativo.

Tabla 16: Valores de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para la propiedad físicas de contenido de humedad.

VARIABLES	Color ΔE	
	CH	LM
Lugar de exposición		
Media	24,09	21,435
Tukey	A	B
Ángulo de exposición		
Media	23,51	22,015
Tukey	A	B
Proporción bambú-plástico		
Media	24,095	21,43
Tukey	A	B

Dónde: (ΔE) Variación de color, (CH) lugar de exposición Chosica, LM: lugar de exposición La Molina, A y B: indicadores de análisis, donde la desigualdad indica significancia y la igualdad lo contrario.

En la Tabla 14 se presentan los valores promedio y desviaciones estándar de la variación de color (ΔE) que presentó el compuesto bambú-plástico luego de ser expuesto al intemperismo durante seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina respectivamente.

Las probetas expuestas en Chosica con 0 grados de inclinación (horizontalmente), presentaron un cambio de color (ΔE) de 26,4 para la proporción 30/70, seguido de la proporción 50/50 con un ΔE de 24,3. De igual forma en las probetas expuestas a 45 grados se presentó un ΔE de 24,0 para la proporción 30/70 seguido de la proporción 50/50 con 21,7. En cuanto a las probetas expuestas en La Molina con 0 grados de inclinación, se registró un ΔE de 23,1 para la proporción 30/70, seguido de la proporción 50/50 con 20,2. De igual forma en las probetas expuestas a 45 grados, se alcanzó un ΔE igual a 22,8 para la proporción 30/70 seguido de la proporción 50/50 con un 19,6. Se observa que los mayores valores de ΔE se encuentran en Chosica y en la proporción 30/70.

En la Figura 29 se presenta la variación del color (ΔE) del compuesto bambú-plástico, durante los 182 días de intemperismo, teniendo en cuenta el lugar y ángulo de exposición, así como las proporciones de mezcla. Se puede observar que los primeros 28 días de intemperismo no se registran cambios de color significativos. Sin embargo, es necesario señalar que sólo en estos primeros días de exposición la proporción 50/50 presenta en general una mayor variación de color, para luego ser la proporción 30/70 la que tenga mayor variación de color.

Se puede observar también que la variación de color se va a incrementar a medida que el tiempo de intemperismo se prolongue. Los mayores incrementos en el cambio de color de todas las formulaciones suceden a partir de los 56 días de intemperismo, para luego seguir aumentando gradualmente, verificando así el comportamiento de los compuestos bambú-plástico, presentado en la investigación realizada por Hung *et al.* (2012).

Esta situación se puede deber a que en esos primeros días la radiación y humedad de ambos lugares de exposición incidieron sobre las partículas lignocelulósicas del compuesto bambú-plástico, generando grupos cromofóricos, responsables del cambio de color. Y el compuesto con mayor cantidad de partículas presentó el mayor cambio de color (Fabiya 2010).

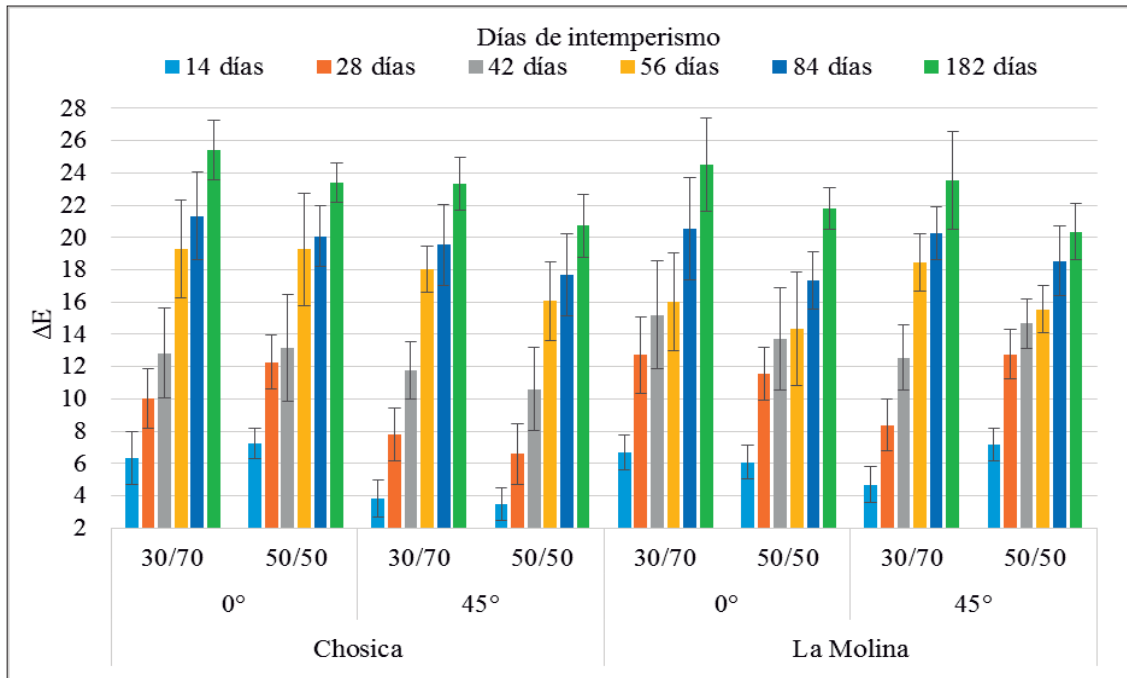
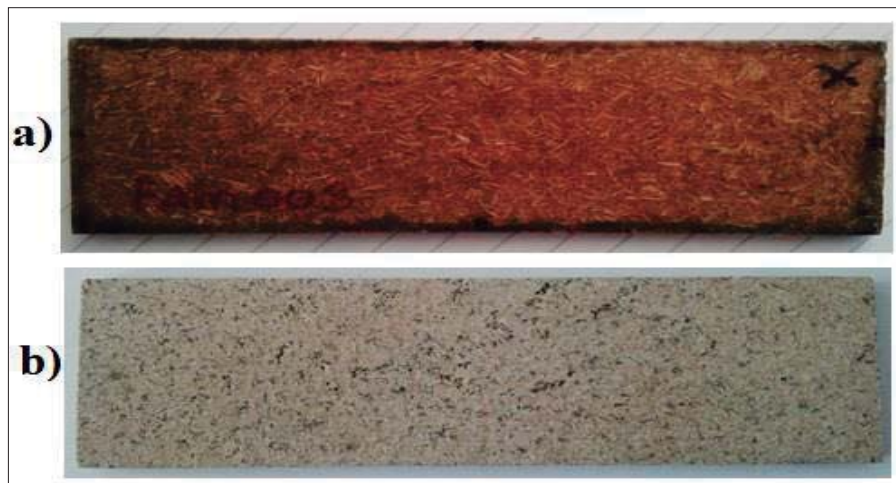


Figura 29: Variación del color de las muestras del compuesto bambú-durante el intemperismo.

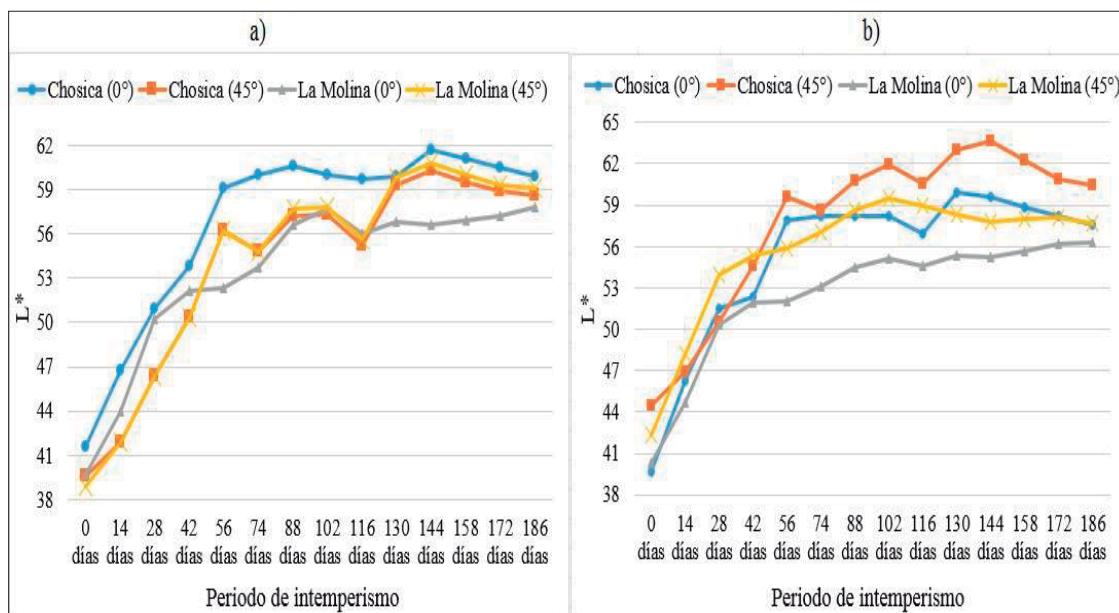
Sin embargo, al degradarse las partículas pudieron ser fácilmente lavadas por la lluvia y el viento disminuyendo la proporción de partículas de bambú de la superficie del compuesto y el polipropileno también empieza a amarillarse o blanquearse luego de un tiempo por las tensiones generadas en la superficie del compuesto y efecto de las condiciones climáticas. Esta variación en el color del compuesto bambú-plástico se puede observar en la Figura 30.



Probeta: a) Antes del intemperismo, b) después del intemperismo.

Figura 30: Variación de color en las muestras del compuesto bambú-plástico.

El cambio de color ΔE , según el sistema CIELAB, involucra las coordenadas de color L^* , a^* y b^* , ver anexo 2 y 3. Siendo el aclaramiento (L^*) más perceptible por el ojo humano (X-rite 2002). Por ello en la Figura 31 se presentan los valores de L^* , se observa un incremento lineal en el aclaramiento de las muestras del compuesto bambú plástico, hasta los 56 días de exposición, para luego presentar incrementos graduales hasta los 144 días, a partir de los cuales se percibe una disminución de los valores. Debido posiblemente a que las muestras pierden material lignocelulósico por la degradación del compuesto como resultado de los factores ambientales. Este comportamiento se asemeja a lo señalado por Fabiyi *et al.* (2008) quien señala que el aclaramiento disminuye con tiempos largos de exposición, debido a la disminución de las concentraciones de madera y plástico.



Proporciones del compuesto bambú-plástico: a) 30/70, b) 50/50.

Figura 31: Valores de L^* del compuesto bambú-plástico durante el intemperismo.

Se puede observar que a partir de los 88 días de exposición empiezan a haber variaciones en el incremento de claridad, esto se relaciona con los cambios en las condiciones climáticas de ambos lugares que empiezan alrededor del 9 y 11 de octubre (Figuras 27 y 28).

Además, los mayores valores de aclaramiento se dan en Chosica, para ambas proporciones independientemente del ángulo de exposición. Debido a que este lugar posee mayor radiación y durante el tiempo de intemperismo la temperatura máxima se mantuvo elevada generando una mayor brecha con la temperatura mínima, en comparación con La Molina. Esta variación térmica genera estrés en la superficie del compuesto propiciando la aparición de grietas, las

cuales favorecen la fotodegradación de la lignina y la oxidación del polímero, incrementando el aclaramiento del compuesto.

Por otro lado, en la Figura 32, se representa la variación del color (ΔE) final de las muestras del compuesto bambú-plástico, luego de 182 días de exposición a la intemperie, teniendo en cuenta el lugar y ángulo de exposición, así como la proporción de mezcla. Se observa un cambio de color mayor en la proporción 30/70 en todas las formulaciones, al finalizar el tiempo de intemperismo. Es importante señalar que los mayores valores en el cambio de color, se presentaron en el lugar de exposición “Chosica” y a los 0 grados de inclinación, en ambos lugares de exposición.

Los valores finales de ΔE en Chosica y La Molina no presentan diferencias muy resaltantes, debido a que al finalizar el ensayo de intemperismo, en los meses de enero y febrero, las muestras del compuesto bambú-plástico se terminaron de fotodegradar en igual intensidad, pues las condiciones climáticas de ambos lugares fueron similares, posiblemente por efecto del fenómeno del niño que originaron que no se presenten lluvias en Chosica y se eleve la temperatura mínima en la Molina.

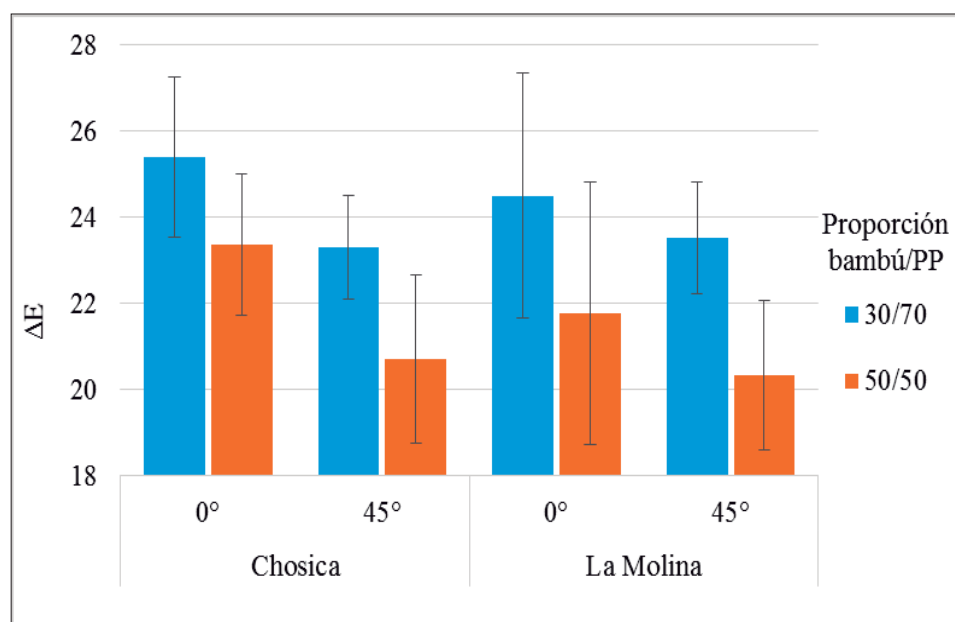


Figura 32: Variación del color de las muestras del compuesto bambú-plástico al final del intemperismo.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 15), el cambio de color que se está presentando en los compuestos bambú-plástico al finalizar el ensayo de intemperismo, está

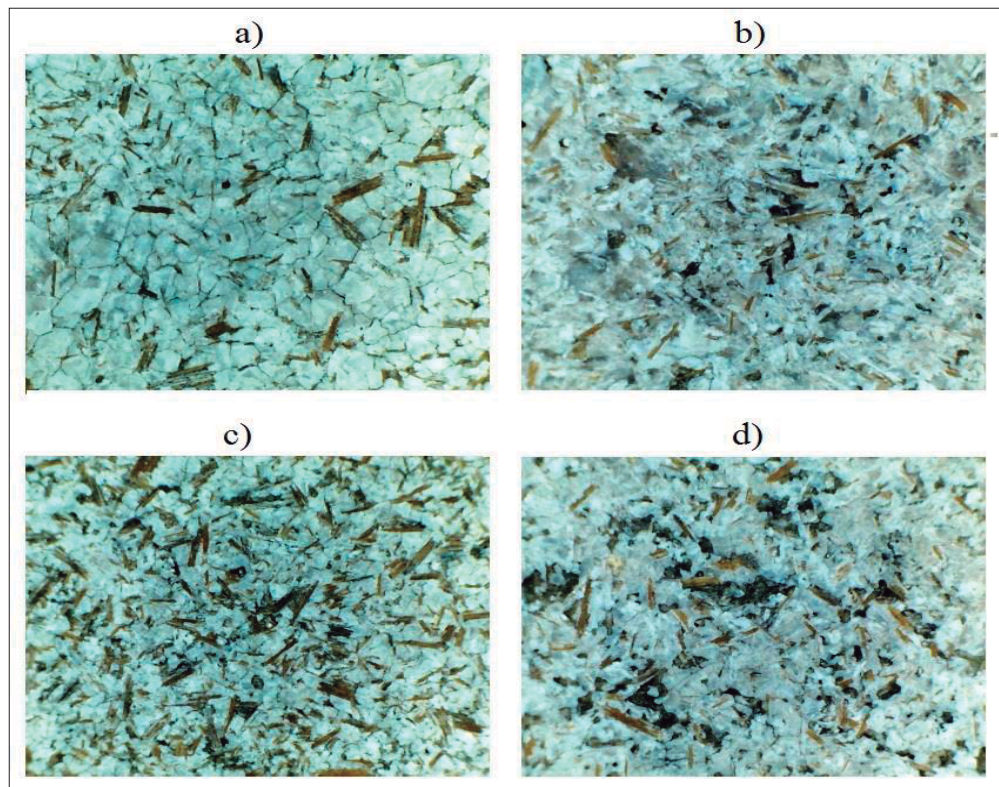
afectado de manera altamente significativa por las variables lugar de exposición, ángulo de exposición y proporción bambú-plástico; así como por la interacción de las variables lugar y ángulo de exposición. Con la comparación de medias, mediante la prueba Tukey (Tabla 16), se confirma que tanto el lugar, ángulo de exposición y la proporción de mezcla influenciaron significativamente el cambio de color del compuesto. Siendo el lugar de exposición Chosica, el ángulo de exposición 0 grados y la proporción 30/70, las variables en las que se obtuvieron mayores valores de cambio de color.

Esta influencia, al igual que en el aclaramiento, se debe probablemente a las condiciones ambientales presentes en ambas locaciones. La incidencia de los altos valores de radiación UV y temperatura de Chosica en conjunto con la humedad relativa a lo largo del tiempo de ensayo favorecieron la fotodegradación del compuesto, causando agrietamientos en la superficie de la matriz y favoreciendo la degradación de la lignina presente en las partículas del bambú (Stark y Matuana 2007).

En todas las formulaciones se observa que la variación de color al final del ensayo, fue mayor en el ángulo de exposición 0 grados. Esto se debió a la incidencia directa de los rayos solares durante el día, los cuales posiblemente fueron más perjudiciales en Chosica. También a la incidencia de las gotas de lluvia, que se presentaron en La Molina en los meses de octubre y noviembre, pudo afectar la erosión de la superficie del compuesto. Por otro lado, la retención de humedad es mayor a comparación del ángulo de 45 grados. Siendo la humedad uno de los factores más importantes ya que favorece la fotodegradación de los compuestos, al incrementar la velocidad de degradación por hinchamiento de las fibras y aparición de micro-agrietamientos (Azwa *et al.* 2013; Rowell 2005).

Finalmente, la proporción 30/70 es la que presentó mayor ΔE , esto se debe principalmente a la degradación de las partículas de bambú y al amarillamiento del polipropileno por efecto de la fotooxidación. Es posible que en la proporción 50/50 la adhesión interfacial fuera débil, creándose espacios alrededor de las fibras y burbujas en la superficie, que favorecieron la fotodegradación de la lignina de las partículas de bambú, dejando hemicelulosas que no son tan susceptibles a la radiación, pero sí a la temperatura (Azwa *et al.* 2013), luego que las partículas fueran degradadas es posible que el viento o la lluvia las lavara dejando nuevas partículas a la vista, ver Figura 33 (c y d).

Además, en la proporción 30/70 el plástico pudo encapsular mejor a las partículas evitando elevadas pérdidas, sin embargo, el polipropileno de la superficie del compuesto sufre tensiones por efecto de la radiación, las elevadas temperaturas y la humedad presente en ambos lugares de exposición, propiciando la cristalización del material, oxidación y el blanqueamiento de la superficie, ver Figura 33 (a y b).



Proporción y ángulo de exposición: a) 30/70 a 0°, b) 30/70 a 45°, c) 50/50 a 0°, d) 50/50 a 45°.

Figura 33: Superficie de las muestras del compuesto bambú/plástico después del intemperismo.

En investigaciones realizadas por otros autores (Hung *et al.* 2012, Yang *et al.* 2015, Homkhiew *et al.* 2014; Fabiyi *et al.* 2008), luego de exponer durante 180 días al intemperismo materiales compuestos, presentaron valores de ΔE iguales a 17,2; 17-22; 35 y 40, respectivamente. En la presente investigación se obtuvieron valores de ΔE iguales a 24 y 21 para proporciones de 30/70 y 50/50, los cuales no se alejan mucho de las investigaciones realizadas con otras fibras. Sin embargo, al compararlas con materiales comerciales como las terrazas fabricas por Treborimex, las cuales presentan $\Delta E < 6$, se verifica que el compuesto bambú-plástico presenta una elevada decoloración, causada por los efectos combinados de las condiciones climáticas de los lugares de exposición que propician la fotodegradación y

oxidación del compuesto, generando sustancias cromóforas y compuestos extraíbles; débil adhesión interfacial y factores de manufactura.

Por otro lado, investigadores como Yang *et al.* (2015) y Homkhiew *et al.* (2014), presentan valores de L* mucho mayores a los presentados en esta investigación, debido principalmente a las condiciones climáticas propias de los lugares de exposición, a las características inherentes de los componentes utilizados y a los métodos de moldeo. Cárdenas (2012), Fuentes *et al.* (2014) y Catto (2015) presentan variaciones de aclaramiento de 33; 35 y 43-45,5 por ciento. Así mismo, empresas como trebordeck ofrecen pisos con 5-10 por ciento de aclaramiento al año. Mientras que el compuesto bambú-plástico, en la presente investigación, supera el 50 por ciento, siendo mucho mayor a los presentados comercialmente. Esto se debe a la presencia de espacios vacíos alrededor de las partículas de bambú en el compuesto, que permitieron una mayor incidencia de las condiciones climatológicas sobre las partículas de bambú y la matriz. La cual favoreció la fotodegradación de la lignina, formando grupos cromofóricos y la fotooxidación del polímero favoreciendo el blanqueamiento del compuesto.

2.2. RUGOSIDAD

En la Tabla 17 se presentan los resultados promedio obtenidos de las variaciones de color del compuesto bambú-plástico, luego de seis meses de intemperismo. Así mismo, en la Tabla 18 se presentan los valores del análisis de variancia y en la Tabla 19 los valores de la comparación múltiple de medias resultantes por medio de la prueba Tukey.

Tabla 17: Datos promedio y desviaciones estándar de las variaciones de color y rugosidad del compuesto bambú-plástico.

<i>Formulación</i>	<i>Lugar de exposición</i>	<i>Inclinación (°)</i>	<i>bambú/PP</i>	<i>Rugosidad Ra (μm)</i>
F1	Chosica	0	30/70	6,5 [2,10]
F2	Chosica	0	50/50	7,3 [2,12]
F3	Chosica	45	30/70	7,7 [2,5]
F4	Chosica	45	50/50	7,3 [1,72]
F5	La Molina	0	30/70	5,3 [1,61]
F6	La Molina	0	50/50	4,5 [0,82]
F7	La Molina	45	30/70	6,1 [0,83]
F8	La Molina	45	50/50	7,6 [1,27]

Donde: Ra: media aritmética de los valores de rugosidad.

Tabla 18: Valores del análisis de variancia de los resultados de color y rugosidad del compuesto bambú-plástico.

Fuente de variabilidad	G.L.	Rugosidad (Ra)	
		p-valor	Significancia
L	1	0,0691	N.S
A	1	0,1179	N.S
P	1	0,7769	N.S
L*A	1	0,4092	N.S
L*P	1	0,9891	N.S
A*P	1	0,7782	N.S
L*A*P	1	0,2673	N.S
C.V.		31,359	

Donde: (Ra) media aritmética de los valores de rugosidad, (L) efecto del bloque lugar de exposición, (A) efecto principal del ángulo de inclinación durante la exposición, (P) efecto principal del factor proporción bambú-plástico, (L*A) efecto entre la doble interacción del lugar y ángulo de exposición, (L*P) efecto entre la doble interacción del lugar y proporción, (A*P) efecto entre la doble interacción del ángulo y la proporción, (L*A*P) efecto entre la triple interacción del tamaño del lugar, ángulo y proporción., (CV) coeficiente de variabilidad, (n.s.) no significativo, (*) significativo, (**) muy significativo.

Tabla 19: de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para las propiedades físicas de contenido de humedad, densidad, absorción e hinchamiento.

VARIABLES	Rugosidad (Ra μm)	
	CH	LM
Lugar de exposición		
Media	7,2125	5,8275
Tukey	A	A
Ángulo de exposición	0°	45°
Media	5,9306	7,1094
Tukey	A	A
Proporción bambú-plástico	30/70	50/50
Media	6,4163	6,6238
Tukey	A	A

Donde: (Ra) media aritmética de los valores de rugosidad, (CH) lugar de exposición Chosica, (LM) lugar de exposición La Molina, (A y B) indicadores de análisis, donde la desigualdad indica significancia y la igualdad lo contrario.

En la Tabla 17 se presentan los valores promedio y desviaciones estándar de la rugosidad del compuesto bambú-plástico, medida en Ra (μm), luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina respectivamente.

Las probetas expuestas en Chosica con 0 grados de inclinación (horizontalmente), alcanzaron un Ra de 7,3 μm para la proporción 50/50, seguido de la proporción 30/70 con un Ra de 6,5 μm . Lo contrario sucedió con las probetas expuestas a 45 grados, donde se alcanzó un Ra igual a 7,7 μm para la proporción 30/70 seguido de la proporción 50/50 con un Ra igual a 7,3 μm . En cuanto a las probetas expuestas en La Molina con 0 grados de inclinación, alcanzaron un Ra igual a 5,3 μm . para la proporción 30/70, seguido de la proporción 50/50 con un Ra igual a 4,5 μm . Lo contrario sucedió con las probetas expuestas a 45 grados, donde alcanzó un Ra de 7,6 μm para la proporción 50/50, seguido de la proporción 30/70 con un Ra de 6,1 μm .

En las Figuras 34 y 3 se representan los valores de Ra (μm) alcanzados por las muestras del compuesto bambú-plástico, luego de 182 días de exposición a la intemperie, teniendo en cuenta el ángulo y proporción de mezcla, para Chosica y La Molina, respectivamente. Se observa un incremento progresivo de los valores de Ra (μm), en los primeros tres meses, lo cual puede estar influenciado por el desgaste normal del material ante los efectos climatológicos de cada lugar de exposición. Sin embargo, después de los tres meses de exposición se registra un aumento agresivo en la rugosidad de las superficies, de más del doble del valor patrón. Lo cual se puede deber a las variaciones de las condiciones climáticas que empiezan a fines de noviembre para ambos lugares, registrando los mayores valores de rugosidad en Chosica (ver Figuras 27 y 28).

Así mismo, estos valores son superiores en la proporción 50/50 en casi todos los tratamientos, debido posiblemente a la mayor proporción de partículas susceptibles al hinchamiento por humedad que conlleva a la favorece la aparición de grietas en la matriz. Por otro lado, se observa los mayores valores obtenidos de rugosidad a los 45 grados de inclinación. Esto se debe a la facilidad con la que el aire puede incidir en las probetas expuestas.

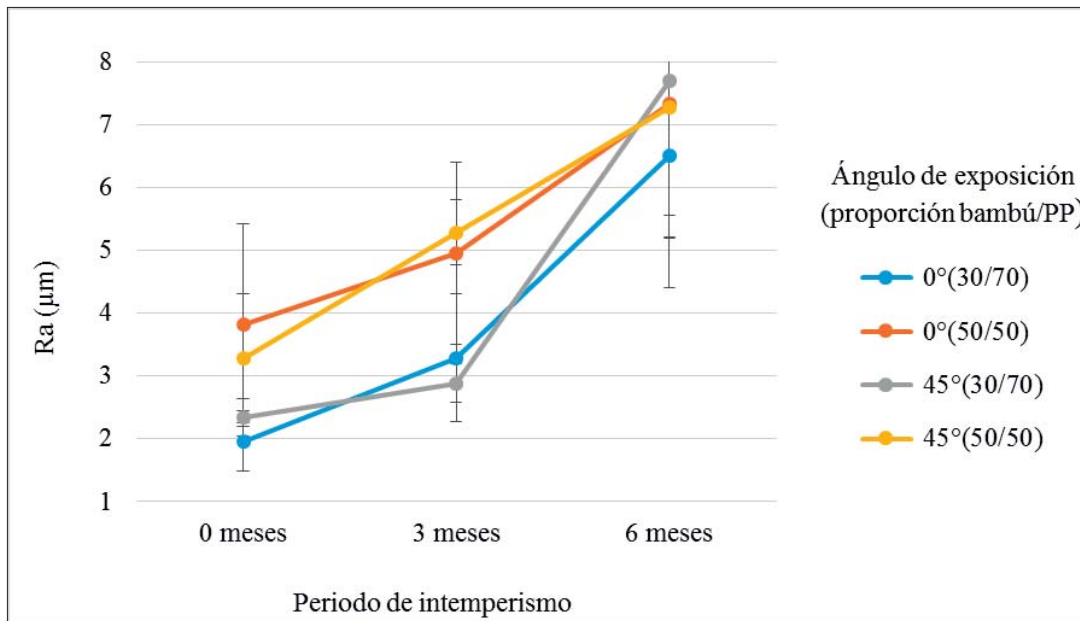


Figura 34: Valores de rugosidad Ra en μm , de la superficie del compuesto expuesto a intemperismo en Chosica.

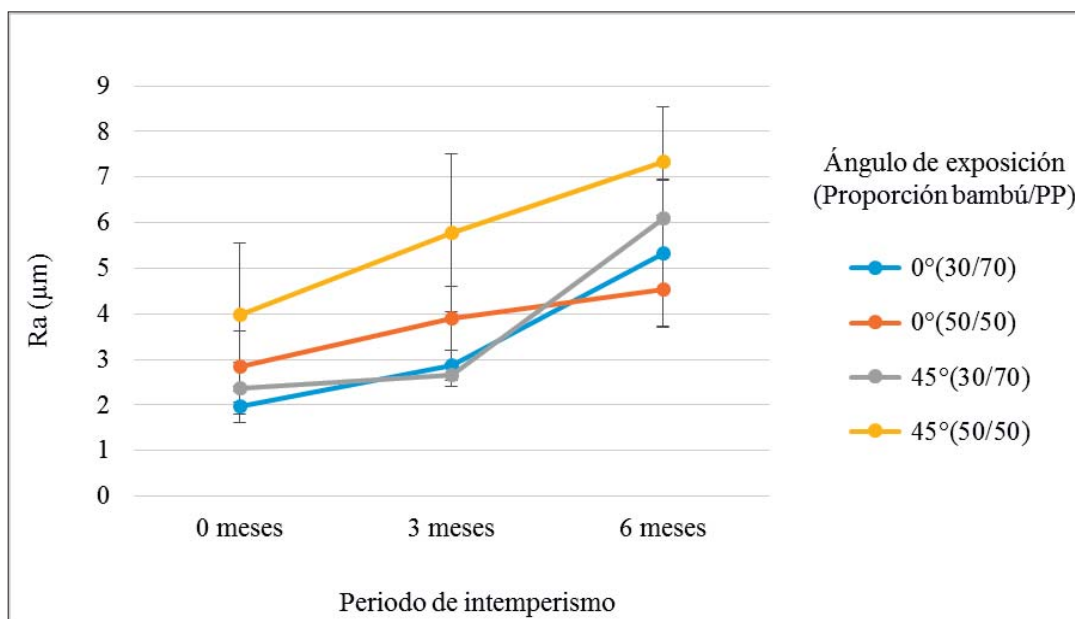


Figura 35: Valores de rugosidad Ra en μm , de la superficie del compuesto expuesto a intemperismo en La Molina.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 18), los efectos del factor lugar, ángulo de exposición y proporción de mezcla, así como la interacción entre todos los factores, no fueron significativos en la rugosidad de los compuestos bambú-plástico, después del intemperismo. Con la comparación de medias, mediante la prueba Tukey (Tabla 19), se confirma que tanto el lugar, ángulo de exposición y la proporción de mezcla no influenciaron significativamente los

valores de rugosidad del compuesto. Sin embargo, se puede ver que los valores levemente mayores se presentaron en el lugar de exposición Chosica (7,2 μm), esta influencia se puede verificar también en el error de variancias que es muy cercano al 0,05 que representa la significancia. Esta situación se puede deber a la influencia de factores externos durante el proceso de manufactura del material. Debilitando su resistencia a la erosión superficial, causada por el rango elevado de radiación presente en Chosica.

La variabilidad del incremento de rugosidad surge como respuesta del compuesto a la incidencia de las condiciones ambientales de cada lugar de exposición. Ocurre el proceso de lixiviación de las partículas degradadas del compuesto, por acción de los factores como lluvia, humedad y viento durante el intemperismo natural. Registrándose lo más elevados en Chosica, donde a pesar que no se registraron precipitaciones, las condiciones de radiación y temperatura fueron elevadas, y pudieron generar mayor degradación de las partículas y el polímero.

Por otro lado, considerando la baja significancia de las variables estudiadas sobre la rugosidad del material, se puede considerar que el proceso de elaboración del compuesto también pudo haber influenciado en mayor medida sobre los elevados valores de rugosidad después del intemperismo, ya que las muestras presentaban burbujas de aire, producto de la mala compactación de la mezcla durante el prensado; ya que cuando existe una pobre adhesión entre las partículas lignocelulósicas y la matriz se generan espacios vacíos alrededor de las partículas de fibra favoreciendo la degradación del compuesto (Azwa *et al.* 2013). Al degradarse la fina capa de plástico que precede al espacio de aire de la burbuja, se generan orificios en la superficie, que dificultan el recorrido de la aguja del rugosímetro registrando altos valores de rugosidad en los puntos de toma de datos (Figura 36).

A pesar de presentar valores elevados de rugosidad (6,4 y 6,6 μ) luego del intemperismo, el compuesto bambú-plástico estudiado no supera a los valores máximos de Ra registrados en el estudio de Aguilar (2008), donde el material compuesto de pellets pino radiata y polipropileno presentó un Ra promedio de 3,43 μm y un Ra máximo de 7,86 μm y los presentados por Anwar *et al.* (2011), quien registro valores de 8,36 y 11,9 μm para un playbamboo. Sin embargo, sí supera a los de la madera sólida que van de 1,5 a 2 μm (Anwar *et al.* 2011).



Figura 36: Superficie del compuesto bambú-plástico, erosionada y con grietas, después del intemperismo.

Esto se debe, a que, si bien el plástico beneficia al compuesto adoptando la superficie lisa del molde utilizado en la manufactura, este no está libre de degradarse durante el intemperismo ya que se forman grietas por el hinchamiento de las fibras y las tensiones de la manufactura. Permitiendo que las partículas queden expuestas y la superficie se vuelva escamosa

Considerando la escala de valores de rugosidad presentada en la investigación de López *et al.* (2003), el compuesto bambú-plástico presentó una superficie de rugosidad semi-fina y luego del intemperismo la superficie se volvió semi-rugosa, evidenciando el efecto del deterioro.

3. PROPIEDADES FÍSICAS

3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD

En la Tabla 20 presentan los resultados promedio obtenidos en los ensayos de las propiedades físicas del compuesto bambú-plástico, luego de seis meses de intemperismo. Así mismo en la Tabla 21 se presentan los valores del análisis de variancia y en la Tabla 22 los valores de la comparación múltiple de medias resultantes por medio de la prueba Tukey.

Tabla 20: Resultados promedio y desviaciones estándar de las variaciones de los ensayos de las propiedades físicas de contenido de humedad.

<i>Formulación</i>	<i>Lugar de exposición</i>	<i>Ángulo de inclinación (°)</i>	<i>Proporción bambú/PP</i>	<i>Contenido de Humedad (%)</i>	<i>Densidad (g/cm³)</i>
F1	Chosica	0	30/70	1,6 [0,1]	0,899 [0,01]
F2	Chosica	0	50/50	2,4 [0,6]	0,891 [0,02]
F3	Chosica	45	30/70	1,5 [0,3]	0,892 [0,01]
F4	Chosica	45	50/50	2,5 [0,5]	0,882 [0,05]
F5	La Molina	0	30/70	1,1 [0,04]	0,887 [0,02]
F6	La Molina	0	50/50	1,9 [0,02]	0,879 [0,03]
F7	La Molina	45	30/70	1,0 [0,03]	0,893 [0,03]
F8	La Molina	45	50/50	2,1 [0,2]	0,868 [0,05]

Tabla 21: Valores del análisis de variancia de los resultados de los ensayos de las propiedades físicas de contenido de humedad, densidad

<i>Fuente de variabilidad</i>	<i>Grados de libertad (G.L.)</i>	<i>CH (%)</i>		<i>Densidad (g/cm³)</i>	
		<i>p-valor</i>	<i>Significancia</i>	<i>p-valor</i>	<i>Significancia</i>
L	1	0,0002	**	0,3673	N.S.
A	1	0,6686	N.S.	0,7382	N.S.
P	1	<,0001	**	0,4754	N.S.
L*A	1	0,7705	N.S.	0,5999	N.S.
L*P	1	0,7845	N.S.	0,3198	N.S.
A*P	1	0,2144	N.S.	0,2380	N.S.
L*A*P	1	0,8197	N.S.	0,8112	N.S.
C.V.		19,675		3,693	

*Donde: (L) efecto del bloque lugar de exposición, (A) efecto principal del ángulo de inclinación durante la exposición, (P): efecto principal del factor proporción bambú-plástico, (L*A) efecto entre la doble interacción del lugar y ángulo de exposición, (L*A) efecto entre la doble interacción del lugar y proporción, (A*P) efecto entre la doble interacción del ángulo y la proporción, (L*A*P) efecto entre la triple interacción del tamaño del lugar, ángulo y proporción, (CV) coeficiente de variabilidad, (n.s) no significativo, (*) significativo, (**) muy significativo.*

Tabla 22: Valores de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para las propiedades físicas de contenido de humedad, densidad.

VARIABLES	Contenido de humedad (%)		Densidad (g/cm³)	
	CH	LM	CH	LM
Lugar de exposición				
Media	1,9745	1,5175	0,8925	0,883
Tukey	A	B	A	A
Ángulo de exposición	0°	45°	0°	45°
Media	1,7225	1,7695	0,8895	0,886
Tukey	A	A	A	A
Proporción bambú-plástico	30/70	50/50	30/70	50/50
Media	1,2795	2,2125	0,8915	0,884
Tukey	B	A	A	A

Donde: (CH) lugar de exposición Chosica, (LM) lugar de exposición La Molina, (A y B) indicadores de análisis e la prueba de Tukey, donde la desigualdad indica significancia y la igualdad lo contrario.

3.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

En la Tabla 20 se presentan los valores promedio y desviaciones estándar del contenido de humedad que presentó el compuesto bambú-plástico luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina respectivamente.

Las probetas expuestas en Chosica con 0 grados de inclinación (horizontalmente), presentaron una humedad de 2,4 por ciento para la proporción 50/50, seguido de la proporción 30/70 con una humedad de 1,6 por ciento; para las probetas expuestas a 45 grados se registró una humedad de 2,5 por ciento para la proporción 50/50 seguido de la proporción 30/70 con una humedad de 1,5 por ciento. En cuanto a las probetas expuestas en La Molina con 0 grados de inclinación, se presentó una humedad de 1,9 por ciento para la proporción 50/50, seguido de la proporción 30/70 con una humedad de 1,1 por ciento; para las probetas expuestas a 45 grados se registró una humedad de 2,1 por ciento en la proporción 50/50, seguido por la proporción 30/70 con una humedad de 1 por ciento.

En la Figura 37, se representa la variación de humedad final de las muestras del compuesto bambú-plástico, luego de 182 días de exposición a la intemperie, teniendo en cuenta el lugar y ángulo de exposición, así como la proporción de mezcla. Se observa que los mayores

valores de humedad se encuentran en los compuestos con mayor proporción de partículas (50/50). Siendo Chosica el lugar de exposición con los mayores valores de humedad. Además, tanto en Chosica como en La Molina, la proporción 50/50 registró valores de humedad levemente mayores a un ángulo de exposición de 45 grados. En cambio, para la proporción 30/70 fue indiferente el ángulo de exposición en la variación de humedad.

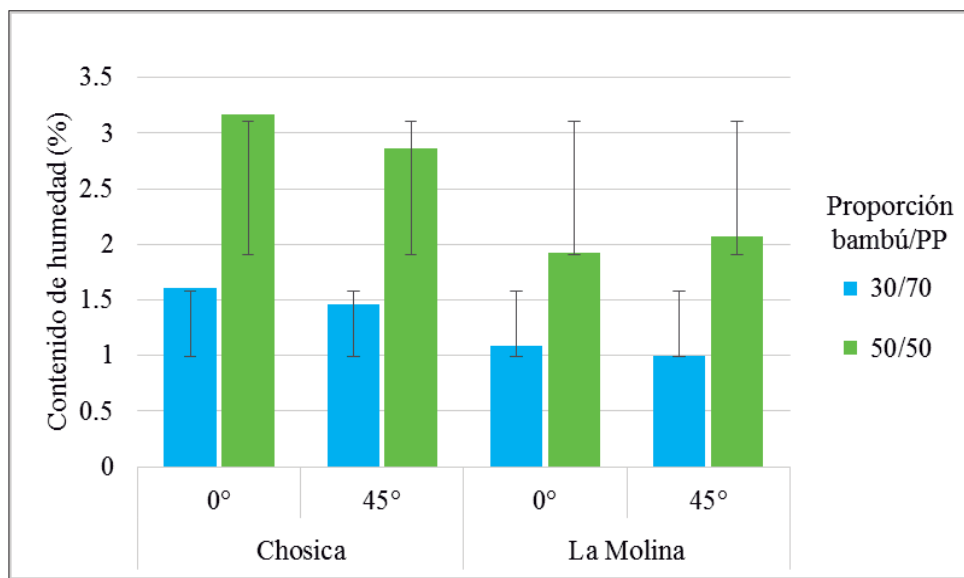


Figura 37: Figura. Contenido de humedad del compuesto bambú-plástico luego de seis meses de intemperismo.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 21), el factor lugar de exposición y la proporción de mezcla presentaron un efecto altamente significativo sobre los valores del contenido de humedad del compuesto bambú-plástico luego de 182 días de intemperismo. Con la comparación de medias en la prueba Tukey, se comprueba influencia significativa de los factores, y que Chosica tuvo una mayor influencia sobre los valores de humedad del compuesto y que la proporción 50/50 es la que presenta los mayores valores de humedad.

Esto se debe a la elevada fotodegradación de los compuestos, ya que se pueden dejar partículas visibles al aire libre, así como grietas pronunciadas en la superficie (Figura 36). Lo que indica que el intemperismo natural degradó significativamente el compuesto bambú-plástico, afectando los enlaces entre las fibras y el plástico (Rowell 2005). Considerando los picos elevados de humedad relativa en los últimos meses de exposición en Chosica (Figura 27) y considerando el carácter de las fibras de equilibrarse con el ambiente es posible que se tenga los mayores valores de contenido de humedad, en este lugar.

Las fibras expuestas absorben mayor humedad y las grietas favorecen la rápida penetración de la humedad en el compuesto. En ese sentido, los compuestos de proporciones 50/50 son los que presentan mayores valores de humedad debido a su alto contenido de partículas hidrofílicas. Absorbiendo mayores valores de humedad debido a que las fibras lignocelulósicas a diferencia del plástico, busca estar en equilibrio con el ambiente que los rodea. Debido a las grietas presentes en la superficie durante el intemperismo, se facilita la entrada de humedad y dejan al descubierto partículas que no han sido adecuadamente encapsuladas por el plástico, generando así una mayor absorción de la humedad del ambiente. Ya que las moléculas de agua presentes en el ambiente se van a unir con los grupos hidroxilo disponibles en la superficie de las partículas descubiertas (Dittenber y GangaRao 2012).

Los valores de humedad para el compuesto bambú-plástico luego del intemperismo natural son en promedio 1,3 por ciento para la proporción 30/70 y 2,23 por ciento para la proporción 50/50. Por su parte Yang *et al.* (2015) registró valores de humedad para compuestos plástico-madera entre 4 y 4,5 por ciento luego del intemperismo natural. Esta variación en los valores de los compuestos va a depender de los ciclos de humedad a los que han sido expuestos, lo cuales son muy variables en el ambiente ya que dependen de las condiciones climáticas propias del lugar (Fuentes *et al.* 2014).

3.1.2. DENSIDAD

En la Tabla 20 se muestran los valores promedio y desviaciones estándar de la densidad que presentó el compuesto bambú-plástico luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina respectivamente. Las probetas expuestas en Chosica presentaron en promedio una densidad de 0,89 a g/cm^3 en la proporción 30/70 y una densidad de 0,88 a 0,89 g/cm^3 en la proporción 50/50. En cuanto a las probetas expuestas en La Molina la densidad fue de 0,89 en la proporción 30/70, y de 0,87 a 0,88 g/cm^3 en la proporción 50/50.

En la Figura 38, se representa la variación de los valores de densidad del compuesto bambú-plástico luego de 182 días de exposición a la intemperie, teniendo en cuenta el lugar y ángulo de exposición, así como la proporción de mezcla. Se observa que en todas las formulaciones los mayores valores de densidad los tiene la proporción 30/70. La proporción 50/50 presenta valores levemente menores de densidad y se hace más evidente en La Molina. Esto se podría deber a la mayor degradación del compuesto con mayor proporción

de partículas por efecto de precipitaciones y altos niveles de humedad relativa, que se registraron en La Molina durante el tiempo de intemperismo, a diferencia de Chosica. Considerando que la fotodegradación puede generar pérdida de masa (Yang *et al.* 2015), la cual afecta en los valores de densidad.

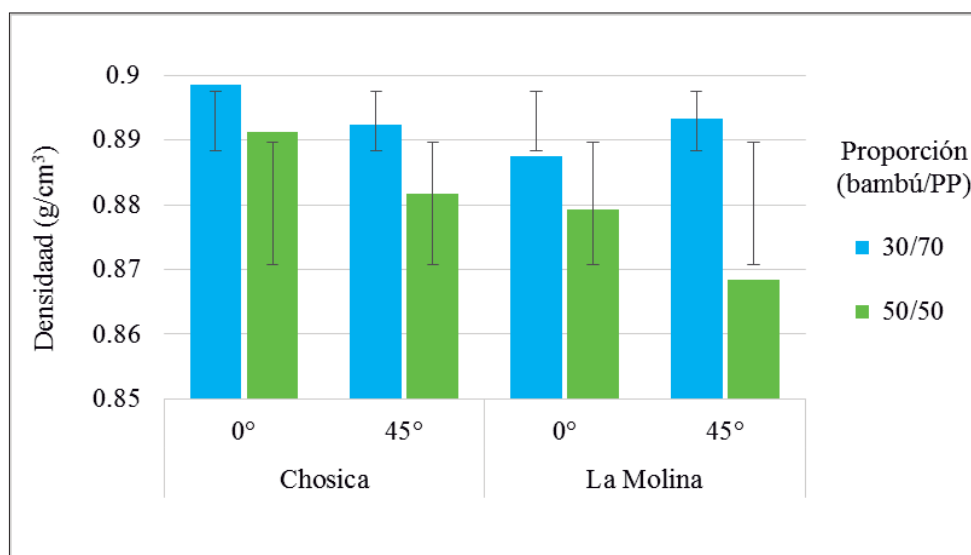


Figura 38: Densidad del compuesto bambú-plástico luego de seis meses de intemperismo en Chosica y La Molina.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 21), el efecto de los factores lugar, ángulo de exposición, proporción de mezcla, así como la interacción entre ellos, sobre los valores de densidad no es significativa. Con la comparación de medias en la prueba Tukey (Tabla 22), se comprueba que no hubo influencia significativa por parte del lugar, ángulo de exposición ni proporción de mezcla sobre los valores densidad del compuesto bambú-plástico. Se comprueba también que los menores valores de densidad se presentaron en La Molina y en la proporción 50/50. Con una mayor proporción de partículas lignocelulósicas y una débil unión interfacial, las fibras lignocelulósicas están más propensas a absorber humedad, generar grietas y degradación de la lignina, por la presencia de precipitaciones y mayores valores de humedad relativa, en La Molina, a lo largo del tiempo de exposición.

Los valores de densidad para el compuesto bambú-plástico luego del intemperismo natural, en promedio para ambas proporciones no superan los $0,9 \text{ g/cm}^3$. Al compararlo con las densidades de compuestos sin exponer, registrados por Cárdenas (2012), Moya *et al.* (2012) y Rosa *et al.* (2009): 1,06-1,11 $0,99$ - $1,05$; $0,94 \text{ g/cm}^3$ respectivamente. Se verifica una disminución en densidad del compuesto causado por el efecto del intemperismo. Por otro

lado, la densidad del compuesto bambú-plástico es mayor al de la guadua laminada con $0,72 \text{ g/cm}^3$ (López y Correal 2009). Además, se puede inferir que el compuesto bambú-plástico ha mejorado la densidad que tenían por separado sus componentes; ya que después de haber sido expuesto a radiación directa, precipitaciones, humedad, vientos, entre otros, el compuesto presenta una densidad igual a la del bambú y el polipropileno por separado y sin ser expuestos al intemperismo, bambú $0,5-0,9 \text{ g/cm}^3$ (Espinoza 2010) y PP $0,9 \text{ g/cm}^3$ (Estrada 2010). Debido principalmente al encapsulamiento de las partículas de bambú, por el plástico.

Sin embargo, los valores obtenidos de densidad, luego del intemperismo, son mucho menores a los registrados por Yang *et al.* (2015) $4,5$ y $4,0 \text{ g/cm}^3$ para las proporciones 50/50 y 30/70 respectivamente y a los ofrecidos en productos comerciales como pisos: $1,1$; $1,23$ y $1,34 \text{ g/cm}^3$ (Treborimex 2016, JM pisos 2016 y trebordeck 2016, respectivamente). Esta situación puede deberse inicialmente a un mal proceso de moldeado del compuesto, afectando la unión inter facial de los componentes y permitiendo que la radiación y humedad ingresen con facilidad en el compuesto. Para que luego las partículas sean lavadas por la precipitación o el viento, y se pierda masa. Esto se verifica en la investigación de Fabiyi *et al.* (2008) quien registra una reducción de hasta el 30 por ciento en masa luego de 180 días de intemperismo.

3.2. ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO

En la Tabla 23 se presentan los resultados promedio obtenidos en los ensayos de las propiedades físicas del compuesto bambú-plástico, luego de seis meses de intemperismo. Así mismo en la Tabla 24 se muestran los valores del análisis de variancia y en la Tabla 25 los valores de la comparación múltiple de medias resultantes por medio de la prueba Tukey.

Tabla 23: Resultados promedio y desviaciones estándar de las variaciones de los ensayos de las propiedades físicas de absorción e hinchamiento.

Formulación	Lugar de exposición	Ángulo de inclinación (°)	Proporción bambú/PP	Absorción (%)		Hinchamiento (%)	
				2h	24h	2h	24h
F1	Chosica	0	30/70	3,7 [0,3]	6,7 [0,6]	0,5 [0,2]	0,9 [0,3]
F2	Chosica	0	50/50	5,4 [1,4]	11,4 [4,2]	0,9 [0,5]	1,6 [0,6]
F3	Chosica	45	30/70	3,9 [0,4]	8,4 [1,0]	0,7 [0,1]	1,2 [0,1]
F4	Chosica	45	50/50	7,4 [0,5]	16,6 [1,0]	1,0 [0,4]	1,6 [0,5]
F5	La Molina	0	30/70	4,2 [0,2]	7,2 [1,1]	0,8 [0,2]	1,4 [0,4]
F6	La Molina	0	50/50	7,4 [1,4]	15,8 [3,4]	1,3 [0,3]	1,8 [0,3]
F7	La Molina	45	30/70	3,5 [0,5]	7,3 [1,6]	1,5 [0,3]	2,2 [0,5]
F8	La Molina	45	50/50	8,1 [1,7]	19,8 [4,2]	2,3 [0,3]	3,0 [0,3]

Tabla 24: Valores del análisis de variancia de los resultados de los ensayos de las propiedades físicas de absorción e hinchamiento.

Fuente de variabilidad	G.L.	Absorción				Hinchamiento			
		2 horas (%)		24 horas (%)		2 horas (%)		24 horas (%)	
		p-valor	Significancia	p-valor	Significancia	p-valor	Significancia	p-valor	Significancia
L	1	0,0511	NS	0,0646	N.S.	<,0001	**	<,0001	**
A	1	0,148	NS	0,0053	**	<,0001	**	0,0003	**
P	1	<,0001	**	<,0001	**	<,0001	**	0,0005	**
L*A	1	0,1319	NS	0,4415	N.S.	0,0026	**	0,0048	**
L*P	1	0,0743	NS	0,0346	*	0,1236	N.S.	0,9131	N.S.
A*P	1	0,0396	*	0,0534	N.S.	0,4934	N.S.	0,8909	N.S.
L*A*P	1	0,9482	NS	0,9301	N.S.	0,2064	N.S.	0,1718	N.S.
C.V.		20,795		25		27		26,154	

L: efecto del bloque lugar de exposición, A: efecto principal del ángulo de inclinación durante la exposición, P: efecto principal del factor proporción bambú-plástico, L*A: efecto entre la doble interacción del lugar y ángulo de exposición, L*A: efecto entre la doble interacción del lugar y proporción, A*P: efecto entre la doble interacción del ángulo y la proporción, L*A*P: efecto entre la triple interacción del tamaño del lugar, ángulo y proporción.

CV: coeficiente de variabilidad; n.s.: no significativo; *: significativo; **: muy significativo.

Tabla 25: Valores de comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para las propiedades físicas de absorción e hinchamiento.

VARIABLES	Absorción (%) 2 h		Absorción (%) 24 h		Hinchamiento (%) 2 h		Hinchamiento (%) 24 h	
	CH	LM	CH	LM	CH	LM	CH	LM
Lugar de exposición								
Media	5,078	5,8075	10,7805	12,531	0,7635	1,4775	1,32	2,0855
Tukey	A	A	A	A	B	A	B	A
Ángulo de exposición	0°	45°	0°	45°	0°	45°	0°	45°
Media	5,1765	5,709	10,2815	13,03	0,86	1,381	1,408	1,9975
Tukey	A	A	B	A	B	A	B	A
Proporción bambú-plástico	30/70	50/50	30/70	50/50	30/70	50/50	30/70	50/50
Media	3,802	7,0835	7,3985	15,913	0,8695	1,3715	1,423	1,9825
Tukey	B	A	B	A	B	A	B	A

CH: lugar de exposición Chosica, LM: lugar de exposición La Molina, A y B: indicadores de análisis e la prueba de Tukey, donde la desigualdad indica significancia y la igualdad lo contrario.

3.2.1. ABSORCIÓN

En la Tabla 23 se presentan los valores promedio y desviaciones estándar de los valores de absorción del compuesto bambú-plástico a las 2 y 24 horas de inmersión, luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina respectivamente. Para las probetas expuestas en Chosica a 0 y 45 grados de inclinación, la absorción a las 24 horas de inmersión para la proporción 30/70 fue de 6,7 y 8,4 por ciento respectivamente, para la proporción 50/50 fue de 11,4 y 16,6 por ciento respectivamente; para las probetas expuestas en La Molina a 0 y 45 grados, la absorción para la proporción 30/70 fue de 7,2 y 7,3 por ciento respectivamente y para la proporción 50/50 fue de 7,4 y 8,1 por ciento respectivamente. Cabe señalar que el compuesto bambú-plástico presenta un comportamiento muy similar a las 2 horas de absorción, pero con menores valores.

En la Figura 39, se muestra la absorción a las 2 y 24 horas de inmersión, del compuesto bambú-plástico para todas las formulaciones, luego de 182 días de intemperismo. Se puede observar que los incrementos de absorción en el tiempo se dan independientemente del lugar de exposición. Sin embargo, desde el inicio de la inmersión se puede ver una marcada diferencia entre las proporciones del compuesto bambú-plástico; la proporción 50/50 es la que presenta mayores valores de absorción, siendo las más representativas al final del ensayo, las que se expusieron a 45 grados de inclinación en La Molina.

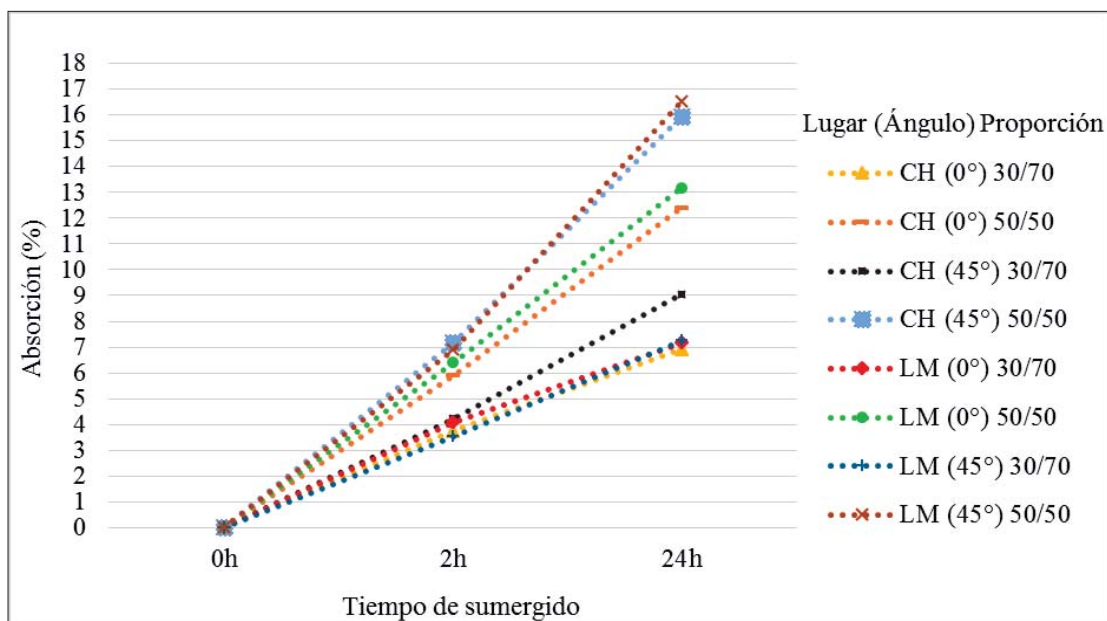


Figura 39: Absorción a las 2 y 24 horas de sumergido, del compuesto bambú-plástico luego del intemperismo en Chosica (CH) y La Molina (LM).

La mayor absorción en los compuestos 50/50 expuestos a 45 grados, se puede deber a la erosión superficial como resultado del efecto en conjunto de la radiación, humedad, viento y sobre todo precipitaciones ocurridas en La Molina, que favorecieron la pérdida de masa dejando mayor cantidad de espacios entre las fibras y la matriz dentro del compuesto, ver Figura 40. Lo cual influye en gran medida en el ensayo de absorción porque el agua entrará con mayor facilidad en el interior del compuesto y la proporción 50/50 al tener más partículas expuestas absorberá mayor cantidad de agua, en comparación con la proporción 30/70.

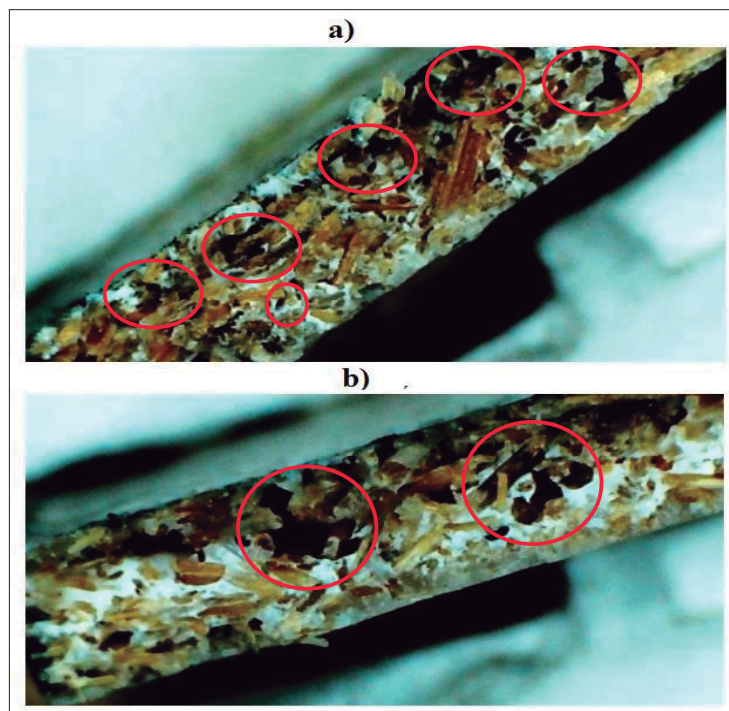


Figura 40: Espacios entre las fibras y la matriz en el compuesto bambú-plástico después de 182 días de intemperismo: a) proporción 50/50 y b) proporción 30/70.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 24), a las 2 horas de inmersión solo el factor proporción tiene un efecto altamente significativo sobre los valores de absorción, mientras que la interacción entre la proporción y el ángulo de exposición fue significativa. Luego a las 24 horas de inmersión el factor proporción y ángulo de exposición tienen un efecto altamente significativo, mientras que la interacción entre el lugar y la proporción fue significativa. Observándose que el lugar influye, pero de manera conjunta con otras variables, comprobándose en el valor de error muy cercano al 0,05. Esto se puede deber principalmente al nivel similar de fotodegradación que han sufrido las muestras del compuesto bambú-plástico al final del ensayo de intemperismo, donde las condiciones climáticas para Chosica y La Molina se volvieron muy similares a partir del mes de diciembre.

Con la comparación de medias por medio de la prueba Tukey (Tabla 25), se comprueba que hubo una influencia significativa por parte del ángulo y la proporción de mezcla lugar, luego de 24 horas de inmersión, observando los mayores valores de absorción en la proporción 50/50 y a los 45 grados de inclinación durante la exposición. El comportamiento de la proporción 50/50, es propio de los compuestos con mayor proporción de partículas que

absorben más agua debido a sus características hidrofílicas (Morrell *et al.* 2006), y al desgaste ocasionado por el intemperismo, que genera espacios interfaciales para que ingrese más agua.

Los valores de absorción de agua a las 24 horas, del compuesto bambú-plástico fueron de 7 y 16 por ciento para proporciones de 30/70 y 50/50 respectivamente. Estos valores se asemejan a los hallados por Hung *et al.* (2012). Sin embargo, son demasiado elevados al compararlos con los registrados por Yang *et al.* (2015), los cuales van de 0,9 a 1,5 por ciento; y sobre todo en comparación con los pisos comerciales que cuentan con una capacidad de absorber agua de 0,8 y <0,5, ofrecidos por JM pisos (2016) y Trebordeck (2016) respectivamente. Este comportamiento puede deberse principalmente a una mala adhesión interfacial inicial, causada por el método de elaboración del compuesto, y agravada por el desgaste del compuesto debido a la incidencia de los factores climatológicos durante el intemperismo (Dittenber y GangaRao 2012; Stark 2007).

3.2.2. HINCHAMIENTO

En la Tabla 23 se presentan los valores promedio y desviaciones estándar de los valores de hinchamiento del compuesto bambú-plástico a las 2 y 24 horas de inmersión, luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina. Para las probetas expuestas en Chosica a 0 y 45 grados de inclinación en la exposición, el hinchamiento a las 24 horas de inmersión para la proporción 30/70 fue de 0,9 y 1,2 por ciento respectivamente, para la proporción 50/50 fue de 1,6 por ciento para ambas inclinaciones; para las probetas expuestas en La Molina a 0 y 45 grados, la absorción para la proporción 30/70 fue de 1,4 y 2,2 por ciento respectivamente y para la proporción 50/50 fue de 1,8 y 3 por ciento respectivamente. Cabe señalar que el compuesto bambú-plástico presenta un comportamiento muy similar a las 2 horas de inmersión, pero con valores muy similares.

En la Figura 41, se muestra el hinchamiento a las 2 y 24 horas de inmersión del compuesto bambú-plástico para todas las formulaciones, luego de 182 días de intemperismo, no se observa una diferencia marcada entre las formulaciones. Sin embargo, los mayores valores se presentaron en los compuestos expuestos en La Molina, debido a las condiciones ambientales presentes y la presencia de precipitación durante la exposición; ya que el agua acelera la degradación del compuesto (Azwa *et al.* 2013); así como en la inclinación de 45 grados que según Rodríguez y Fuentes (2003) es donde se obtienen los índices más altos de

degradación, exponiendo así las partículas para absorber agua, hincharse y afectar el espesor del compuesto.

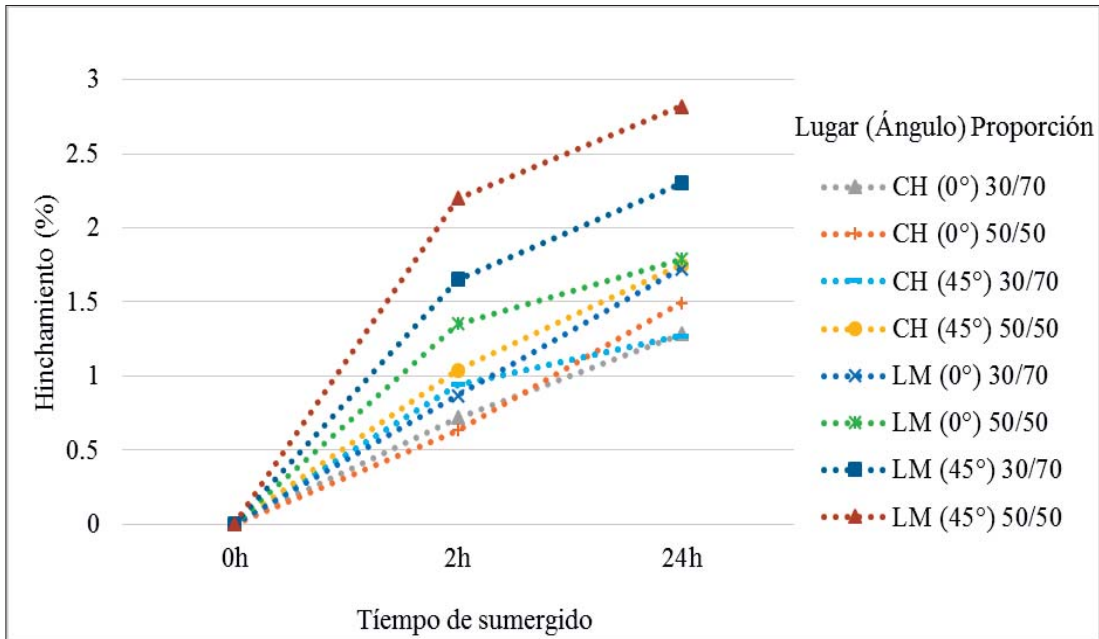


Figura 41: Hinchamiento las 2 y 24 horas de sumergido, del compuesto bambú-plástico luego del intemperismo en Chosica (CH) y La Molina (LM).

Además, los compuestos con mayor proporción de partículas presentan mayores valores de hinchamiento, debido a que las partículas absorben humedad, hinchándose y generando grietas en la matriz, que alteran la forma de las probetas. Al respecto Klyosov (2007) relaciona un alto contenido de humedad con un mayor hinchamiento del compuesto.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 24), a las 2 y 24 horas de inmersión todos los factores (lugar, ángulo de exposición y proporción de mezcla) tienen un efecto altamente significativo sobre los valores de hinchamiento. Con la comparación de medias por medio de la prueba Tukey (Tabla 25), se comprueba que la influencia significativa de todos los factores. Los mayores valores de hinchamiento se presentan en el ángulo de 45 grados, en la proporción 50/50 y los más significativos en el lugar de exposición La Molina.

Esto se debe a la presencia de precipitación y humedad elevada en La Molina durante el ensayo, generando un estrés en el compuesto que ocasionó no sólo la aparición de grietas en la superficie, sino también la deformación en el espesor; y al efecto de erosión sobre el compuesto con mayor cantidad de partículas lignocelulósicas que se colocó a 45 grados, por el viento y la caída de gotas de lluvia. Dejando al descubierto fibras que absorben mayor

humedad, se hinchan y luego forman espacios interfaciales que en el ensayo de hinchamiento se llenan con agua favoreciendo el hinchamiento del espesor.

Los valores promedio de hinchamiento a las 24 horas de inmersión fueron: 2 por ciento para la proporción 50/50 y 1,4 por ciento para la proporción 30/70. Yang *et al.* (2015) registra valores de hinchamiento menor a 1 por ciento. Así mismo, los pisos para exteriores comerciales a base de compuestos reforzados con material lignocelulósico presentan tasas de variación de espesor, tras 24 horas de sumergidos, de 0,5 y <1 por ciento, ofrecidos por Treborimex (2016 y Trebordeck (2016). Esta diferencia en los valores de hinchamiento se debe principalmente al método de elaboración del compuesto. En la presente investigación, durante el proceso del prensado no se tuvo absoluto control de todas las variables que intervienen, de tal forma que luego del intemperismo, el hinchamiento no solo es a causa de la absorción de agua sino también de la liberación de fuerzas de compresión que se dieron durante el prensado del material (Wolcott y Englund 1999). Así como a la metodología de moldeado de las probetas del compuesto, que fue mediante el corte laser y el lijado manual de los bordes. En este proceso es probable que la temperatura del láser selle más algunos lados de la probeta, así como el lijado pudo ser poco uniforme, dejando algunos lados con fibras más expuestas que otras, a la absorción de humedad del ambiente y posterior deterioro.

4. PROPIEDADES MECÁNICAS

4.1. FLEXIÓN

En la Tabla 26 se presentan los resultados promedio obtenidos en los ensayos de las propiedades mecánicas del compuesto bambú-plástico, luego de seis meses de intemperismo. En la Tabla 27 se presentan los valores del análisis de variancia y en la Tabla 28 los valores de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba Tukey.

Tabla 26: Resultados promedio y desviaciones estándar del ensayo de flexión.

Formulación	Lugar de exposición	Ángulo de inclinación (°)	Proporción bambú/PP	Flexión	
				MOR _F (Mpa)	MOE _F (Gpa)
F1	Chosica	0	30/70	23,78 [2,46]	1,4 [0,25]
F2	Chosica	0	50/50	25,51 [1,70]	2,15 [0,49]
F3	Chosica	45	30/70	27,16 [1,92]	1,97 [0,55]
F4	Chosica	45	50/50	23,73 [1,69]	1,97 [0,47]
F5	La Molina	0	30/70	24,51 [3,38]	1,37 [1,26]
F6	La Molina	0	50/50	20,29 [2,44]	1,33 [0,37]
F7	La Molina	45	30/70	21,63 [1,66]	1,22 [0,34]
F8	La Molina	45	50/50	22,57 [1,72]	1,70 [0,27]

MOR_F: tensión máxima a la flexión, MOE_F: Módulo elástico, MOR_T: Tensión máxima a la tracción, MOE_T: módulo de Young.

Tabla 27: Valores del análisis de variancia de los resultados del ensayo de flexión.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad (G.L.)	Flexión			
		MOR _F (Mpa)		MOE _F (Gpa)	
		p-valor	Significancia	p-valor	Significancia
L	1	<,0001	**	<,0001	**
A	1	0,6834	N.S.	0,1809	N.S.
P	1	0,0413	*	0,0086	**
L*A	1	0,3572	N.S.	0,7702	N.S.
L*P	1	0,5113	N.S.	0,5372	N.S.
A*P	1	1	N.S.	0,6639	N.S.
L*A*P	1	<,0001	**	0,0057	**
C.V.		9,384		23,762	

MOR_F: tensión máxima a la flexión, MOE_F: Módulo elástico, MOR_T: Tensión máxima a la tracción, MOE_T: módulo de Young, L: efecto del bloque lugar de exposición, A: efecto principal del ángulo de inclinación durante la exposición, P: efecto principal del factor proporción bambú-plástico, L*A: efecto entre la doble interacción del lugar y ángulo de exposición, L*A: efecto entre la doble interacción del lugar y proporción, A*P: efecto entre la doble interacción del ángulo y la proporción, L*A*P: efecto entre la triple interacción del tamaño del lugar, ángulo y proporción, CV: coeficiente de variabilidad; n.s.: no significativo; *: significativo; **: muy significativo.

Tabla 28: Valores de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para la propiedad mecánica de flexión.

VARIABLES	Flexión			
	MOR (Mpa)		MOE (Gpa)	
Lugar de exposición	CH	LM	CH	LM
Media	25,05	22,23	1,89	1,41
Tukey	A	B	A	B
Ángulo de exposición	0°	45°	0°	45°
Media	23,53	23,77	1,57	1,72
Tukey	A	A	A	A
Proporción bambú-PP	30/70	50/50	30/70	50/50
Media	24,27	23,02	1,5	1,79
Tukey	A	B	B	A

CH: lugar de exposición Chosica, LM: lugar de exposición La Molina, A y B: indicadores de análisis e la prueba de Tukey, donde la desigualdad indica significancia y la igualdad lo contrario.

En la Tabla 26 se presentan los valores promedio y desviaciones estándar de la resistencia máxima en flexión (MOR_F) del compuesto bambú-plástico, luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina. Para las probetas expuestas en Chosica a 0 y 45 grados de exposición, el MOR_F para la mezcla 30/70 fue de 23,78 y 27,16 MPa respectivamente y para la mezcla 50/50 fue de 25,51 y 23,73 MPa respectivamente. Para las probetas expuestas en La Molina a 0 y 45 grados de inclinación, la resistencia máxima para la mezcla 30/70 fue de 25,51 y 21,63 MPa respectivamente; para la mezcla 50/50 fue de 20,29 y 22,57 MPa respectivamente.

En la Figura 42, se representa la variación de los valores de MOR_F del compuesto bambú-plástico luego de 182 días de exposición a la intemperie, teniendo en cuenta el lugar y ángulo de exposición, así como la proporción de mezcla. Se observa que los menores valores se presentan en La Molina y en casi todas las formulaciones la proporción 50/50 es la que menor resistencia presenta. También se observa que el ángulo de exposición no influye en el comportamiento del MOR_F para el compuesto bambú-plástico, después de haber sido degradado. Esto se puede deber probablemente a que la fotodegradación de los componentes, generada por los factores ambientales, fue de igual medida para los dos ángulos de inclinaciones, en cada lugar de exposición.

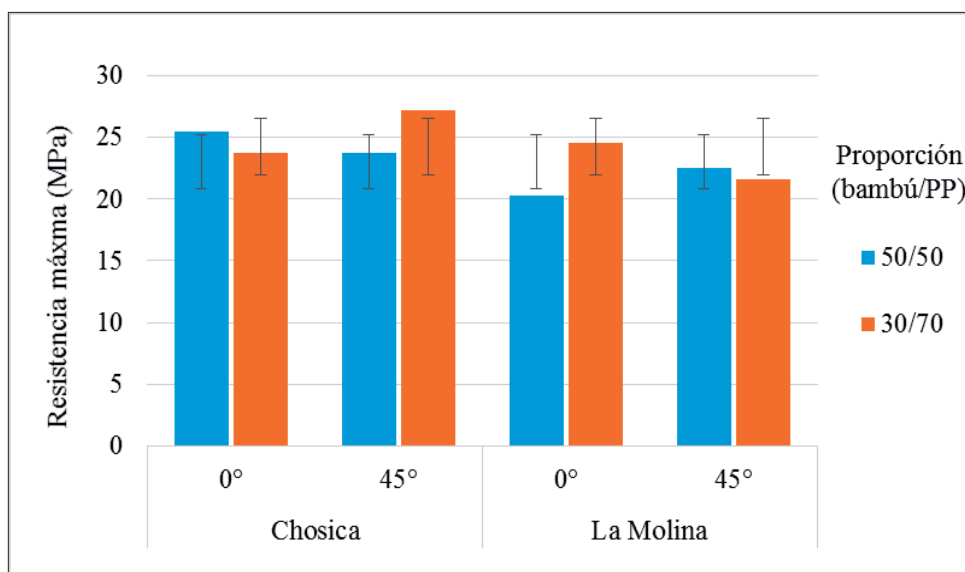


Figura 42: Resistencia máxima en flexión del compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 27), el factor lugar tiene un efecto altamente significativo sobre MOR_F del compuesto bambú-plástico. Mientras que la proporción presenta un efecto significativo, así como la interacción entre los factores lugar, ángulo y proporción. Con la comparación de medias en la prueba Tukey (Tabla 28) se comprueba la influencia significativa del lugar y proporción de mezcla sobre los valores de MOR_F del compuesto bambú-plástico, luego de 182 días de intemperismo. Encontrándose que los menores valores se presentan en La Molina (22,23 MPa) y en la proporción 50/50 (23,02 MPa).

Esta situación se puede deber a que en la Molina la combinación de radiación con altos valores de humedad relativa del ambiente y la presencia de lluvias, afectaron de forma directa en el hinchamiento de las partículas del compuesto con mayor proporción, debilitando las uniones interfaciales y por ende en la resistencia del material a los esfuerzos de flexión.

Además, en investigaciones realizadas por Stark *et al.* (2003), Cárdenas (2012) y Homhiew *et al.* (2014) se registra que los compuestos madera-plástico disminuyen el MOR_F para flexión luego de ser sometidos a periodos de intemperismo. Este comportamiento se debe a la cristalización y rompimiento de las cadenas poliméricas y a la degradación de la lignina (Stark y Matuana 2007). Los valores de MOR_F registrados en la presente investigación, para el compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo, fueron de 24,7 y 23,02 MPa para las

proporciones 30/70 y 50/50, respectivamente. Se puede decir que el compuesto no resiste mucha carga antes de la ruptura, ya que los valores de MOR_F son menores incluso que el PP puro (40 MPa, Leong *et al.* 2014) y la guadua laminada (87 MPa, López y Correal 2009) como materiales por separado y sin exponer al intemperismo.

La baja resistencia del compuesto bambú-plástico puede deberse a una débil unión interfacial entre los componentes, que favoreció el efecto de las condiciones climatológicas de los lugares de exposición. Permitiendo la entrada de humedad en el compuesto, la fotodegradación de la lignina y el polímero, la cristalización del polímero y la aparición de grietas en la superficie por el hinchamiento de las partículas y la tensión de la matriz. Así, los valores de MOR_F del compuesto bambú-plástico presentan una leve disminución al compararlos con los presentados por Cárdenas (2012) con 25 MPa, sin exponer. Así como una disminución de casi el 50 por ciento, en comparación a los materiales compuestos, sin exponer al intemperismo, estudiados por Sudhakara *et al.* (2013); Samal *et al.* (2009) y Vallejos (2006), que encontraron valores de MOR_F iguales 45,42 y 69,4 MPa, respectivamente. Lo cual se debe principalmente al efecto en conjunto de la radiación UV y la humedad relativa en Chosica y La Molina, propiciando la erosión de la superficie del compuesto y favoreciendo la humectabilidad de la superficie, ver Figura 43 (Stark y Gardner 2008).

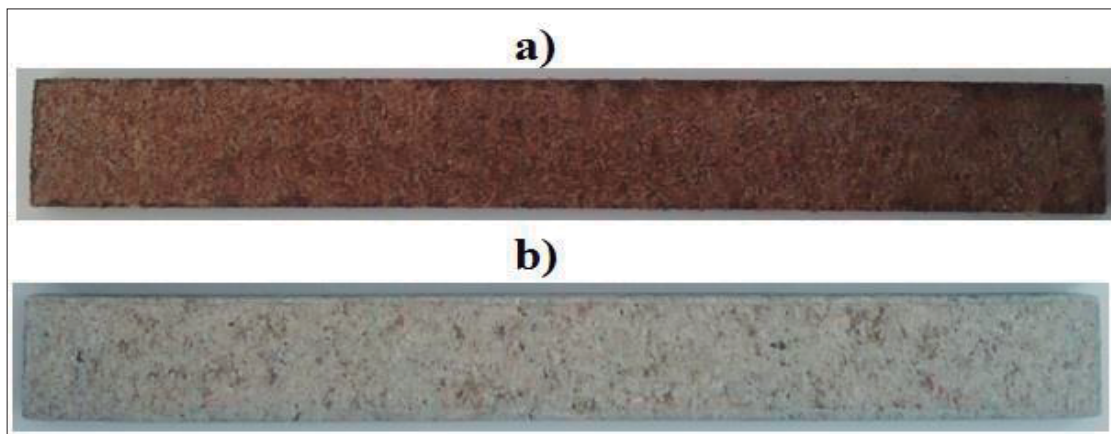


Figura 43: Probetas de flexión: a) antes del intemperismo; b) después de 6 meses de intemperismo.

Además, los valores de MOR_F del compuesto bambú-plástico, después de 182 días de intemperismo, son menores a los presentados por tarimas y terrazas para exteriores (45,4 y 38 MPa) ofrecidos por Treborimex (2016) y Pisos JM pisos (2016). Así como los presentados en otras investigaciones de intemperismo de compuestos reforzados con fibras,

realizadas por Stark (1997) y Homkhiew *et al.* (2014) con 47 y 43; 42 MPa, respectivamente. Lo que se debe a las condiciones climáticas propias de cada lugar de exposición y a las condiciones de manufactura de los materiales compuestos.

En la Tabla 26 se presentan también los valores promedio y desviaciones estándar del módulo de elasticidad (MOE) en flexión del compuesto bambú-plástico, luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina. Para las probetas expuestas en Chosica a 0 y 45 grados de inclinación, el módulo de elasticidad para la mezcla 30/70 fue de 1,4 y 1,97 GPa respectivamente; para la mezcla 50/50 fue de 2,15 y 1,97 GPa respectivamente. Para las probetas expuestas en La Molina a 0 y 45 grados de inclinación, el módulo de elasticidad para la mezcla 30/70 fue de 1,37 y 1,22 GPa respectivamente; para la mezcla 50/50 fue de 1,33 y 1,70 GPa respectivamente.

En la Figura 44, se representa la variación de los valores del módulo de elasticidad en flexión del compuesto bambú-plástico luego de 182 días de exposición a la intemperie, teniendo en cuenta el lugar y ángulo de exposición, así como la proporción de mezcla. Se observa que los menores valores se presentan en La Molina y en general la proporción 50/50 es la que alcanza mayores valores. Lo que podría indicarnos que el compuesto se degradó más en La Molina por la incidencia de las precipitaciones en conjunto con los demás factores ambientales, reduciendo las propiedades mecánicas. Siendo el componente plástico el más afectado por la escisión de cadenas debido a la fotooxidación durante el intemperismo. También se puede observar que el ángulo de exposición no tiene una influencia definida sobre el comportamiento del módulo de elasticidad para todas las formulaciones del compuesto degradado.

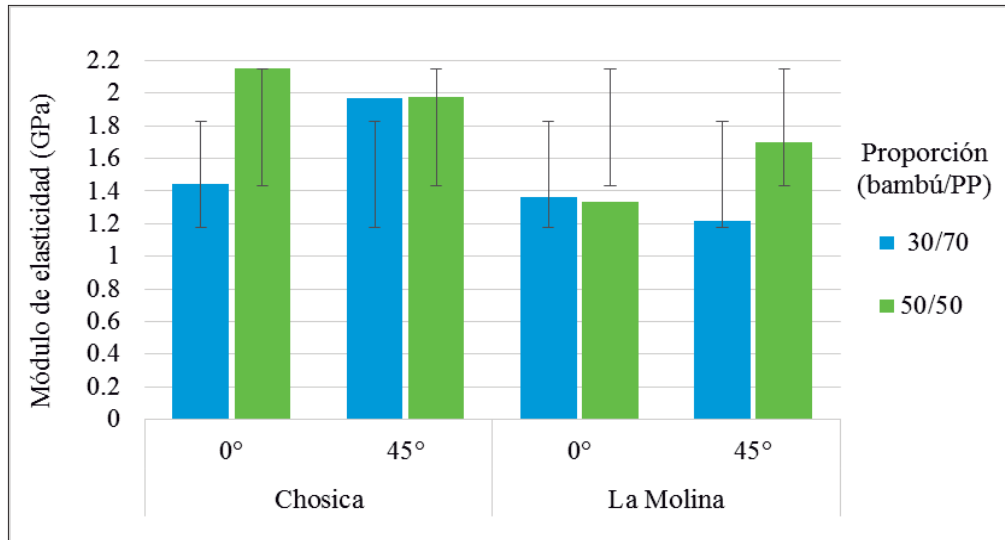


Figura 44: Variación del Módulo de elasticidad en flexión del compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo en Chosica y La Molina.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 27), el factor lugar y la proporción de mezcla tienen un efecto altamente significativo sobre el módulo de elasticidad para la flexión del compuesto bambú-plástico. Con la comparación de medias en la prueba Tukey (Tabla 28) se comprueba la influencia significativa del lugar y proporción de mezcla sobre los valores del módulo de elasticidad para flexión del compuesto bambú-plástico, luego de 182 días de intemperismo. Encontrándose que los mayores valores se registran en Chosica (1,89 GPa), es decir el compuesto se degradó en menor medida, en sus propiedades mecánicas, en Chosica.

Observándose que en La Molina las lluvias y valores altos de humedad relativa pueden generar mayor desgaste y cristalización del compuesto. Además, los mayores valores se presentan en la proporción 50/50 (1,79 GPa), al respecto Majewski y Błędzki (2013) indican que un aumento del contenido de fibras lignocelulósicas en la matriz termoplástica favorece el aumento del módulo de elasticidad.

Sin embargo, las elevadas temperaturas y radiación de Chosica también propiciaron la fotodegradación del polímero, cristalizándolo y rompiendo uniones moleculares que provocaron la degradación del compuesto. En investigaciones realizadas por Stark *et al.* (2003), Stark (2007), Stark y Matuana (2007), Cárdenas (2012) y Homhiew *et al.* (2014) se registra que los compuestos madera-plástico termoplásticos reforzados con fibras lignocelulósicas, presentan una reducción en el MOE para flexión luego de ser sometidos a

periodos de intemperismo. Debido principalmente a los efectos negativos de la humedad en la degradación de la interfaz de los compuestos.

Los valores de MOE_F del compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo, fueron 1,5 y 1,79 GPa para las proporciones 30/70 y 50/50, respectivamente. Se puede inferir que la adición de partículas de bambú ha mejorado la capacidad del PP puro (1,5 GPa, Leong *et al.* 2014), para resistir la flexión, aun después de haber sido degradado por las condiciones ambientales de Chosica y La Molina. Sin embargo, sigue siendo menor al de la guadua laminada (11,4 GPa, López y Correal 2009).

Los valores de MOE_F del compuesto bambú-plástico presentan una leve disminución en comparación a los valores de MOE_F de compuestos sin exposición, presentados por Vallejos (2006), Samal *et al.* (2009) y Cárdenas (2012) con 4,1; 2,5; 1 GPa, respectivamente. Esta disminución se puede deber a la degradación de la lignina de las partículas de bambú en el compuesto, ya que el polímero que queda se encuentra más frágil por la incidencia de los rayos UV en el compuesto que favorecen la reducción en las propiedades mecánicas del compuesto (Fabiya *et al.* 2008).

Además, los valores de MOE_F , registrados son muy bajos en comparación a otras investigaciones hechas por Stark (1997), Cárdenas (2012), Homkhiew *et al.* (2014) 2,9 y 4,2; 0,837; 2,4 GPa para proporciones 30/70 y 50/50 respectivamente. Esto es debido al método de moldeo que influencia el comportamiento del MOE para flexión como lo menciona Stark *et al.* (2003). Así como a los efectos negativos de la humedad relativa de los lugares de exposición (Stark y Matuana 2007), como la erosión de la superficie del compuesto.

4.2. TENSION

En la Tabla 29 se presentan los resultados promedio obtenidos en los ensayos de las propiedades mecánicas del compuesto bambú-plástico, luego de seis meses de intemperismo. Así mismo en la Tabla 30 se presentan los valores del análisis de variancia y en la Tabla 31.

Tabla 29: Resultados promedio y desviaciones estándar de los ensayos de la propiedad mecánica de tensión.

Formulación	Lugar de exposición	Ángulo de inclinación (°)	Proporción bambú/PP	Tensión	
				MOR _T (Mpa)	MOE _T (Gpa)
F1	Chosica	0	30/70	13,25 [0,88]	1,18 [0,27]
F2	Chosica	0	50/50	12,78 [1,89]	1,27 [0,23]
F3	Chosica	45	30/70	14,49 [3,19]	1,28 [0,23]
F4	Chosica	45	50/50	15,08 [2,23]	1,74 [0,29]
F5	La Molina	0	30/70	15,16 [2,25]	1,36 [0,42]
F6	La Molina	0	50/50	14,74 [1,73]	1,59 [0,42]
F7	La Molina	45	30/70	16,63 [1,41]	1,26 [0,17]
F8	La Molina	45	50/50	12,55 [2,02]	1,34 [0,25]

Tabla 30: Valores del análisis de variancia de los resultados de los ensayos de la propiedad de tensión.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad (G.L.)	Tension			
		MOR _T (Mpa)		MOE _T (Gpa)	
		p-valor	Significancia	p-valor	Significancia
L	1	0,2087	NS	0,7624	N.S.
A	1	0,1098	NS	0,4982	N.S.
P	1	0,0983	NS	0,0089	**
L*A	1	0,0265	*	0,0057	**
L*P	1	0,0178	*	0,4367	N.S.
A*P	1	0,3911	NS	0,479	N.S.
L*A*P	1	0,0155	*	0,092	N.S.
C.V.		14,004		21,252	

MOR_F: tensión máxima a la flexión, MOE_F: Módulo elástico, MOR_T: Tensión máxima a la tracción, MOE_T: módulo de Young, L: efecto del bloque lugar de exposición, A: efecto principal del ángulo de inclinación durante la exposición, P: efecto principal del factor proporción bambú-plástico, L*A: efecto entre la doble interacción del lugar y ángulo de exposición, L*A: efecto entre la doble interacción del lugar y proporción, A*P: efecto entre la doble interacción del ángulo y la proporción, L*A*P: efecto entre la triple interacción del tamaño del lugar, ángulo y proporción, CV: coeficiente de variabilidad; n.s.: no significativo; *: significativo; **: muy significativo.

Tabla 31: Valores de la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para la propiedad mecánica de tensión.

VARIABLES	Tensión			
	MOR (Mpa)		MOE (Gpa)	
Lugar de exposición	CH	LM	CH	LM
Media	14,08	14,77	1,36	1,39
Tukey	A	A	A	A
Ángulo de exposición	0°	45°	0°	45°
Media	13,98	14,87	1,35	1,41
Tukey	A	A	A	A
Proporción bambú-PP	30/70	50/50	30/70	50/50
Media	14,88	13,97	1,27	1,49
Tukey	A	A	B	A

CH: lugar de exposición Chosica, LM: lugar de exposición La Molina, A y B: indicadores de análisis e la prueba de Tukey, donde la desigualdad indica significancia y la igualdad lo contrario.

En la Tabla 29 se presentan los valores promedio y desviaciones estándar de la resistencia máxima (MOR_T) en tensión del compuesto bambú-plástico, luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina. Para las probetas expuestas en Chosica a 0 y 45 grados de inclinación, la resistencia máxima para la mezcla 30/70 fue de 13,25 y 14,49 MPa respectivamente; para la mezcla 50/50 fue de 12,78 y 15,08 MPa respectivamente. Para las probetas expuestas en La Molina a 0 y 45 grados de inclinación, la resistencia máxima para la mezcla 30/70 fue de 15,16y 16,63 MPa respectivamente; para la mezcla 50/50 fue de 14,74 y 12,55 MPa respectivamente.

En la Figura 45, se representa la variación de los valores de resistencia máxima en flexión del compuesto bambú-plástico luego de 182 días de exposición a la intemperie, teniendo en cuenta el lugar y ángulo de exposición, así como la proporción de mezcla. Se observa que los bajos valores de MOR para tensión no están determinados por el lugar de exposición ya que la distribución de los resultados en la gráfica es indiferente al lugar y ángulo en el que fueron expuestos. Por otro lado, en todas las formulaciones se observa que la proporción 50/50 es la que presenta valores levemente menores. Esto se puede deber a un desgaste de los enlaces entre los componentes que no favorecen a la resistencia del material.

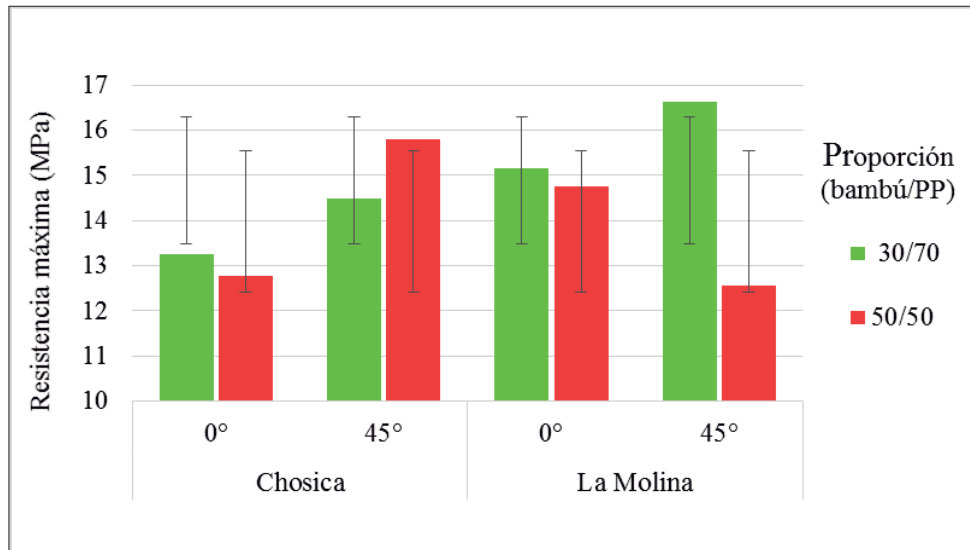


Figura 45: Variación de la resistencia máxima en tensión del compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo en Chosica y La Molina.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 30), todos los factores tienen un efecto no significativo. Mientras que la relación del lugar con el ángulo, así como con la proporción y la relación entre la proporción y el ángulo si tienen un efecto significante sobre el MOR_T del compuesto bambú-plástico, luego de 182 días de intemperismo. Los efectos de las variables por si solos no significan un efecto marcado sobre el material debido probablemente a que este se ha degradado en igual medida, debido a la incidencia de factores externos a la investigación durante el moldeado.

Con la comparación de medias en la prueba Tukey (Tabla 31) se comprueba la influencia no significativa del lugar, ángulo de exposición y proporción de mezcla del compuesto bambú plástico. Encontrándose sin embargo un menor valor en la proporción 50/50 (13,97 MPa), es decir el compuesto con mayor proporción de partículas es el que más se ha degradado por efecto del intemperismo, las partículas expuestas por burbujas en la matriz, se hincharon afectando la unión interfacial y por ende las propiedades mecánicas. Al respecto *Azwa et al.* (2013), menciona que una pobre adhesión entre las partículas de las fibras con la matriz polimérica genera espacios vacíos que permiten el ingreso de agua y radiación durante el intemperismo, acelerando la degradación y debilitando el material.

Los valores de MOR_T para tensión registrados en esta investigación, luego de la exposición al intemperismo del compuesto bambú-plástico son 14,88 y 13,97 MPa para las proporciones 30/70 y 50/50 respectivamente. Estos valores son menores incluso que el

plástico puro (22MPa, Leong *et al.* 2014) y la guadua laminada (132 MPa, López y Correal 2009), sin ser expuestos al intemperismo.

La baja resistencia del compuesto bambú-plástico puede deberse a la erosión superficial causada por el intemperismo, que permite la entrada del agua de lluvia, pérdida de masa por el viento y sobre todo fotodegradación de la lignina y polímero que debilitan las uniones interfaciales (Figura 46). Esta situación evita que haya una adecuada transferencia de esfuerzos entre la matriz y las fibras, disminuyendo la resistencia a la tensión. Los compuestos presentan una disminución de más del 50 por ciento en MOR_T , al compararlo con los registrados por Vallejos (2006), Samal *et al.* (2009) y Cárdenas (2012) con 37,2; 43,96 y 21 MPa.

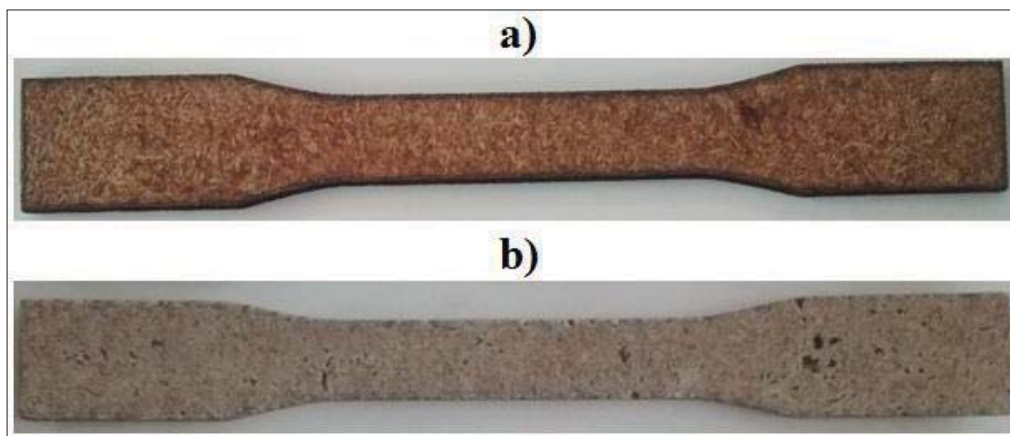


Figura 46: Probeta de tensión: a) antes del intemperismo; b) después de 6 meses de intemperismo.

Por otro lado estos valores de MOR_T , después de 182 días de intemperismo, son muy bajos en comparación a los presentados por pisos (21,8 MPa) ofrecidos por Pisos JM pisos (2016). Así como los presentados en otras investigaciones de intemperismo de compuestos reforzados con fibras, realizadas por Stark (1997), Joseph *et al.* (2002), Cárdenas (2012), Homkhiew *et al.* (2014), Catto (2015) con 27 y 24; 30; 24; 42; 17,5 y 16,5MPa, respectivamente. Joseph *et al.* (2002) también encontró disminución en la resistencia a la tensión de un 23 por ciento. El débil comportamiento de las probetas durante el ensayo de tensión, se debe a que el intemperismo intensificó las deficiencias del compuesto al agrietar la superficie por la absorción de agua y la fotodegradación de las partículas (Rowell 2005). Obteniendo un material poco resistente.

En la Tabla 29 se presentan también los valores promedio y desviaciones estándar del módulo de elasticidad MOE_T para la tensión del compuesto bambú-plástico, luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en los distritos de Chosica y La Molina. Para las probetas expuestas en Chosica a 0 y 45 grados de inclinación, el módulo de elasticidad para la mezcla 30/70 fue de 1,18 y 1,28 GPa respectivamente; para la mezcla 50/50 fue de 1,27 y 1,74 GPa respectivamente. Para las probetas expuestas en La Molina a 0 y 45 grados de inclinación, el módulo de elasticidad para la mezcla 30/70 fue de 1,36 y 1,26 GPa respectivamente; para la mezcla 50/50 fue de 1,59 y 1,34 GPa respectivamente.

En la Figura 47, se representa la variación de los valores del MOE_T del compuesto bambú-plástico luego de 182 días de exposición a la intemperie, teniendo en cuenta el lugar y ángulo de exposición, así como la proporción de mezcla. Se observa que el comportamiento del compuesto frente a la tensión es indiferente del lugar y ángulo en el que se exponga debido probablemente a que el grado de degradación del material fue similar, influenciado por las condiciones del moldeo antes del intemperismo. Además, se puede observar que la proporción 50/50 es la que presenta mayor MOE en todas las formulaciones; al respecto (Rosa *et al.* 2009), confirma que el MOE se incrementa con el aumento de contenido de partículas en el compuesto. Es probable que las muestras expuestas hayan tenido un buen encapsulamiento disminuyendo su degradación durante el intemperismo.

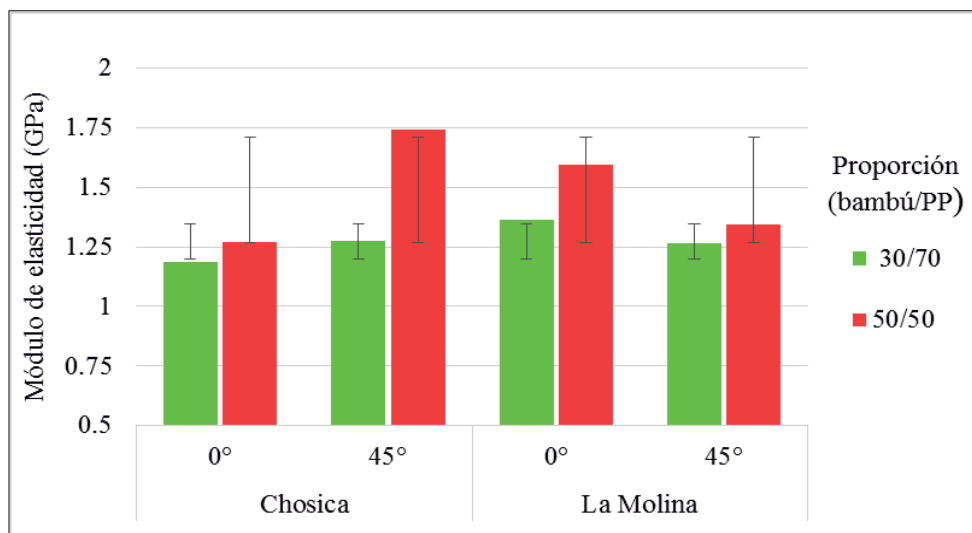


Figura 47: Módulo de elasticidad en tensión del compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo en Chosica y La Molina.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 30), solo el factor proporción y la relación entre el lugar con el ángulo de exposición tienen un efecto altamente significativo sobre el MOE_T del compuesto bambú-plástico. Con la comparación de medias en la prueba Tukey (Tabla 31) se comprueba la influencia significativa de la proporción de mezcla sobre los valores del MOE_T del compuesto bambú-plástico luego de 182 días de intemperismo. Encontrándose que la proporción 30/70 va a presentar los menores valores de MOE_T (1,27 GPa).

Los efectos de las variables son explicados debido a que el compuesto sufrió un desgaste similar en todas las formulaciones, siendo afectado solo por el contenido de partículas al momento de ser ensayado en tensión. Esto se puede deber a una mayor oxidación del polímero, dando lugar a cambios en la cristalinidad del compuesto, que afecten la resistencia, así como debido a la presencia de mayor cantidad de grietas y espacios en la interface, que afectan las propiedades mecánicas (Stark y Gardner 2008).

Los valores de MOE_T para el compuesto bambú-plástico, luego de 182 días de intemperismo, son 1,27 y 1,49 GPa para las proporciones 30/70 y 50/50 respectivamente. Estos valores son menores a los del PP puro (13GPa) y la guadua (17,5 GPa), sin exposición a la intemperie. Se puede decir que el compuesto bambú-plástico necesita un menor esfuerzo para generar deformación, siendo menos resistente. Además, son semejantes a los valores de MOE_T de compuestos sin exposición, presentados por Vallejos (2006), Samal *et al.* (2009) y Cárdenas (2012), 2,7; 1,2; 1,5-1,7 GPa, respectivamente. Esto se puede deber a la poca degradación de la lignina.

Por otro lado, los valores de MOE_T , registrados son muy bajos en comparación a otras investigaciones hechas por Stark (1997), Cárdenas (2012), Homkhiew *et al.* (2014); Fajardo y Campomanes (2015) 2,5; 1,4; 2,4; 1,2GPa. Esto es debido al método de moldeo que influencia el comportamiento del MOE para flexión como lo menciona Stark *et al.* (2003). Esta reducción en las propiedades mecánicas se debe a la escisión de cadenas y a la degradación que sufrieron las moléculas de PP durante la exposición a la radiación (Joseph *et al.* 2002).

4.3. IMPACTO

En la Tabla 32 se presentan los resultados promedio obtenidos en los ensayos de las propiedades mecánicas del compuesto bambú-plástico, luego de seis meses de intemperismo. Así mismo en la Tabla 33 se presentan los valores del análisis de variancia y en la Tabla 34.

Tabla 32: Resultados promedio y desviaciones de los ensayos de la propiedad mecánica de impacto.

Formulación	Lugar de exposición	Ángulo de inclinación (°)	Proporción bambú/PP	Impacto
				Energía (J)
F1	Chosica	0	30/70	0,49 [0,07]
F2	Chosica	0	50/50	0,43 [0,08]
F3	Chosica	45	30/70	0,45 [0,07]
F4	Chosica	45	50/50	0,48 [0,06]
F5	La Molina	0	30/70	0,43 [0,08]
F6	La Molina	0	50/50	0,45 [0,05]
F7	La Molina	45	30/70	0,53 [0,15]
F8	La Molina	45	50/50	0,49 [0,09]

Tabla 33: Valores del análisis de variancia de los resultados de los ensayos de las propiedades mecánicas de impacto.

Fuente de variabilidad	Grados de libertad (G.L.)	Impacto	
		Energía (J)	
		p-valor	Significancia
L	1	0,9391	N.S.
A	1	0,0796	N.S.
P	1	0,7586	N.S.
L*A	1	0,6929	N.S.
L*P	1	0,4959	N.S.
A*P	1	0,5271	N.S.
L*A*P	1	0,0537	N.S.
C.V.		14,001	

MOR_F: tensión máxima a la flexión, MOE_F: Módulo elástico, MOR_T: Tensión máxima a la tracción, MOE_T: módulo de Young, L: efecto del bloque lugar de exposición, A: efecto principal del ángulo de inclinación durante la exposición, P: efecto principal del factor proporción bambú-plástico, L*A: efecto entre la doble interacción del lugar y ángulo de exposición, L*A: efecto entre la doble interacción del lugar y proporción, A*P: efecto entre la doble interacción del ángulo y la proporción, L*A*P: efecto entre la triple interacción del tamaño del lugar, ángulo y proporción, CV: coeficiente de variabilidad; n.s.: no significativo; *: significativo; **: muy significativo.

Tabla 34: Valores de comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey para la propiedad mecánica de impacto.

VARIABLES	Impacto	
	ENERGIA (J)	
Lugar de exposición	CH	LM
Media	0,46	0,48
Tukey	A	A
Ángulo de exposición	0°	45°
Media	0,45	0,48
Tukey	A	A
Proporción bambú-PP	30/70	50/50
Media	0,47	0,47
Tukey	A	A

CH: lugar de exposición Chosica, LM: lugar de exposición La Molina, A y B: indicadores de análisis e la prueba de Tukey, donde la desigualdad indica significancia y la igualdad lo contrario.

En la Tabla 32 se presentan los valores promedio y desviaciones estándar para el ensayo de impacto del compuesto bambú-plástico, luego de ser expuesto al intemperismo por seis meses, en Chosica y La Molina. Para las probetas expuestas en Chosica a 0 y 45 grados de inclinación, la resistencia máxima para la mezcla 30/70 fue de 0,49 y 0,45 J respectivamente; para la mezcla 50/50 fue de 0,43 y 0,48 J respectivamente. Para las probetas expuestas en La Molina a 0 y 45 grados de inclinación, la resistencia máxima para la mezcla 30/70 fue de 0,43 y 0,53 J respectivamente; para la mezcla 50/50 fue de 0,45 y 0,49 J respectivamente.

En la Figura 48, se representa la variación de los valores de energía que soporta el compuesto bambú-plástico en el ensayo de impacto, luego de 182 días de exposición a la intemperie, teniendo en cuenta el lugar y ángulo de exposición, así como la proporción de mezcla. Se observa que en todas las formulaciones no existe un comportamiento determinado en cuando al efecto del ángulo sobre la energía de impacto que puede soportar el compuesto.

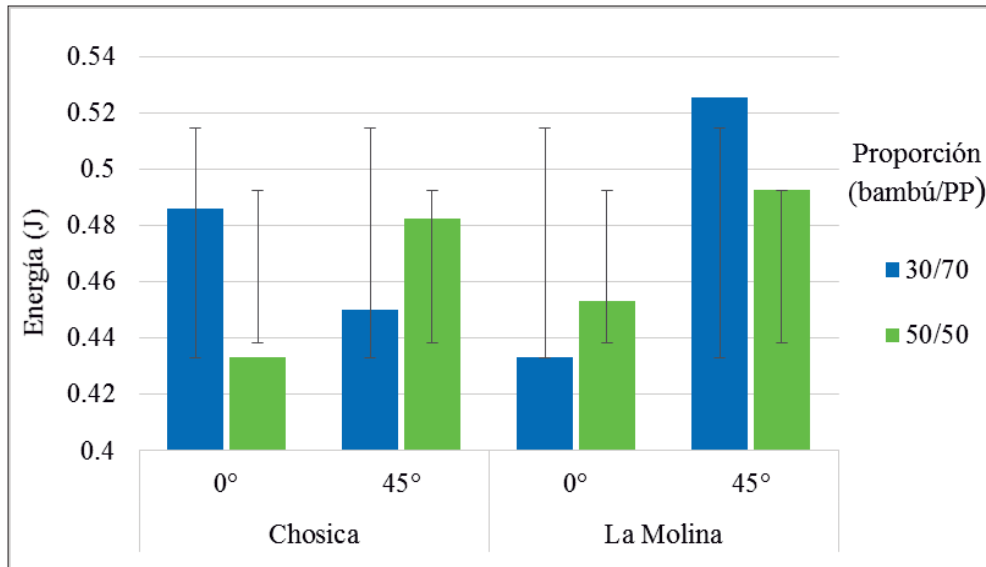


Figura 48: Resistencia al impacto compuesto bambú-plástico, luego del intemperismo en Chosica y La Molina.

Esto se puede deber a que las probetas se han degradado en similar magnitud. La pérdida de resistencia se debe a las brechas interfaciales (Stark y Gardner 2008); generadas probablemente por el estrés térmico de la superficie del compuesto, en ambos lugares (Figura 49). Además, la presencia de orificios en la superficie del compuesto puede haber favorecido el ingreso de la humedad, degradando la interface del compuesto. Sin embargo, se observa que los compuestos con mayor contenido de partículas son los que absorben levemente menos energía en el ensayo. Al respecto Stark (1997) indica que los compuestos van a experimentar un incremento en la energía de impacto con el incremento del contenido de partículas.

Según el análisis estadístico de variancias (Tabla 33), se puede observar que ninguno de los factores lugar, ángulo de exposición ni proporción de mezcla tienen un efecto significativo sobre la energía que puede absorber el compuesto bambú-plástico en el ensayo de impacto, luego del intemperismo. Con la comparación de medias en la prueba Tukey (Tabla 34), se comprueba que no existe ninguna influencia significativa de las variables sobre los valores de la energía que puede absorber el compuesto bambú-plástico en el ensayo de impacto, luego de 182 días de intemperismo. Encontrándose, en todas las variables que los valores de energía absorbida en el impacto van de 0,46 a 0,48 J.

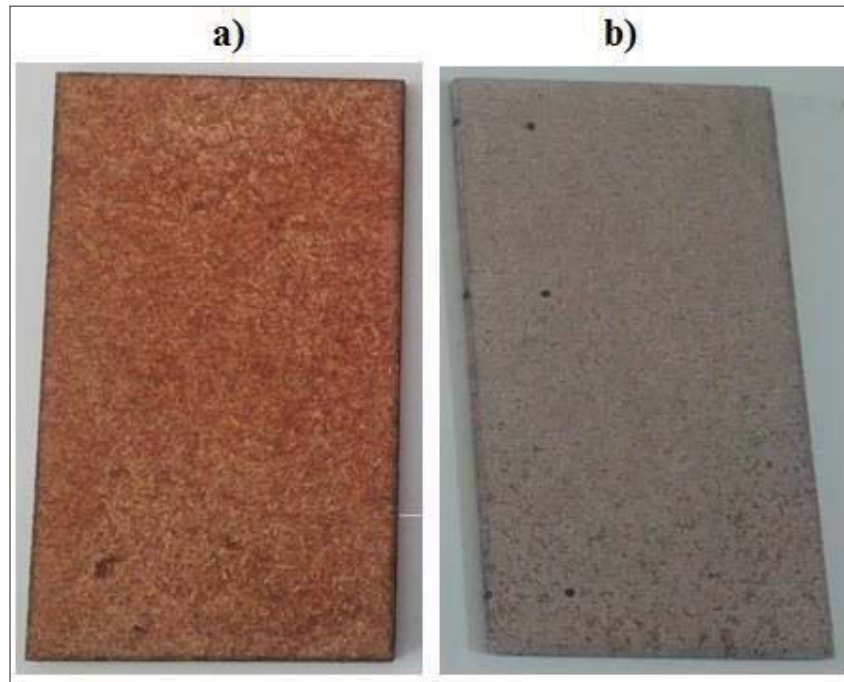


Figura 49: Probetas de impacto: a) antes del intemperismo; b) después de 6 meses de intemperismo.

Los valores de resistencia al impacto del compuesto bambú-plástico expuesto a 182 días de intemperismo, son muy bajos, en comparación a los presentados por Cárdenas (2012) y Catto (2015) de 648J/m, 135 y 140 J/m para compuestos con exposición. Este comportamiento se puede deber a una mala transferencia de energía entre las partículas y la matriz ocasionado por la mala adhesión interfacial del compuesto, la cual intensificada en la degradación del compuesto y propagación de grietas, por efecto del intemperismo Stark (1997).

V. CONCLUSIONES

- 1) Las condiciones climáticas características de los dos lugares de exposición favorecieron la degradación del compuesto.
- 2) El ángulo de exposición influyó significativamente sobre el cambio de color, absorción e hinchamiento del compuesto. Sin embargo, no afectó significativamente sobre las propiedades mecánicas del compuesto bambú-plástico.
- 3) El compuesto bambú-plástico presentó una elevada variación de color después del intemperismo, en ambos lugares de exposición.
- 4) El compuesto bambú-plástico presentó un incremento elevado en la rugosidad, con una superficie de rugosidad media después del intemperismo, en ambos lugares de exposición.
- 5) El compuesto con menor proporción de partículas presentó un mejor comportamiento frente al intemperismo en las propiedades de contenido de humedad, absorción, hinchamiento, densidad, flexión y tensión; sin embargo, no frente al cambio de color.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar la influencia del uso de aditivos, para contrarrestar los efectos de los rayos UV, sobre las propiedades de los materiales compuestos durante el intemperismo.
- Evaluar el comportamiento del compuesto bambú-plástico frente al efecto del intemperismo por un periodo mayor de tiempo para analizar la influencia del cambio de estaciones.
- Evaluar la influencia del método de manufactura en el comportamiento del compuesto bambú-plástico frente al intemperismo.
- Evaluar la comparación entre la exposición natural y artificial del compuesto bambú-plástico.
- Evaluar el comportamiento del compuesto bambú-plástico en lugares próximos al mar.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, C. 2000. Huaycos en 1987 en el distrito de Lurigancho-Chosica, Lima-Perú (en línea). Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines. 38: 475-486. Consultado 31 may. 2016. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/126/12617000004.pdf>
- Abu-Sharkh BF; Hamid, H. 2004. Degradation study of date palm fibre/polypropylene composites in natural and artificial weathering: mechanical and thermal analysis. Polym Degrad Stabil. 85: 967-73.
- Aguilar, A. 2008. Efecto del envejecimiento natural y artificial en la rugosidad de compuestos madera-plástico mediante método por contacto. Tesis Ing. en Maderas. Valdivia, CH. Universidad Austral de Chile. 46 p.
- Anwar, U; Hiziroglu, S; Hamdan, H; Abd.Latif, M. 2011. Effect of outdoor exposure on some properties of resin-treated plybamboo. Industrial Crops and Products. 33: 140-145.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) D 1037. 1999. Standard test methods for evaluating properties of wood base fiber and particle panel materials. ASTM International. West Conshohocken, PA. 31 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) D790. 2003. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM International. West Conshohocken, PA. 11 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) D 638. 2003. Standard Test Method for Tensile Properties for Plastics. ASTM International. West Conshohocken, PA. 15 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) D 5420. 2004. Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimen by Means of a Striker Impacted by a Falling Weight (Gardner Impact). ASTM International. West Conshohocken, PA. 7 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) D 570-98 e1. 2010. Standard Test Method for Water Absorption of Plastic. 4 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) D 1435. 2015. Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics ASTM. ASTM International. West Conshohocken, PA. 5 p.
- Azwa, Z; Yousif, B; Manalo, A; Kaunasena, W. 2013. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. Materials and Design. 47: 424-442.

- Barcia, K. 2006. Centro cultural y recreacional en Chosica. Tesis Arquitecta. Lima, PE. Universidad peruana de ciencias aplicadas. 422 p.
- Beltrán, M; Marcilla, A. 2012. Tecnología de Polímeros: Procesado y propiedades. Universidad de Alicante. 276 p.
- Bouza, R. 2008. Diseño y caracterización de nuevos materiales compuestos polipropileno y madera: Estudio del viniltrimetoxisilano como agente de acoplamiento (en línea). Tesis doctoral. Ferrol, EP. Universidad de A Coruña. 255 p. Consultado 2 feb. 2016. Disponible en: http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/2183/7356/2/BouzaPadin_Rebeca_TD_2008.pdf
- Bustamante, M. 2014. Cuantificación del carbono capturado por plantaciones de *Guadua angustifolia* en el distrito de la Florida, Cajamarca. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- 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 Mg. Sc. Productos Forestales. Jalisco, MX. Universidad de Guadalajara. 145 p.
- Caulfield, D; Clemons, C; Jacobson, R; Rowell, R. 2005. Wood Thermoplastic Composites. Handbook of wood chemistry and wood composites. Madison. USA. p. 365-378.
- Catto, A. 2015. Resistência ao intemperismo natural e ataque fúngico de compósitos polímero-madeira. Tese Dr. Engenharia. Porto alegre, BR. Universidade federal do rio grande do sul. Escola de engenharia. 196 p.
- Cobos, C. 2012. Diseño de un sistema de extrusión-pelletizado para el procesamiento de los residuos plásticos para la Empresa Municipal de la Ciudad de Cuenca EMAC. Tesos graduación. Cuenca, EC. Universidad Politécnica Salesiana. 205 p.
- Cruz, H. 2009. Bambú - *Guadua angustifolia* Kunth. Bosques Naturales en Colombia y Plantaciones Comerciales en México. 1 ed. Pereira, Risaralda, CO. 710 p.
- Dai, D; Fan, M. 2014. Wood fibres as reinforcements in natural fibre composites: structure, properties, processing and applications. Natural Fibre Composites: Materials, Processes and Applications. 3-65 p.
- Daniel, I; Ishai, O. 2006. Engineering mechanics of composite materials. 2 ed. Oxford University press. 432 p.
- Dittenber D; GangaRao, H. 2012. Critical review of recent publications on use of natural composites in infraestructura. Composites: Part A 43: 1419-1429.

- Proyecto Corpei-CBI. 2003. Expansión de la oferta exportable del perfil del producto bambú caña *Guadua angustifolia*-caña brava. 33 p.
- Escarcena, A. 2009. Geografía, flora, fauna, ecología y geología. Historia del distrito de La Molina (en línea). Municipalidad de la Molina. Consultado 31 may 2016. Disponible en: http://www.munimolina.gob.pe/contenido/Historia_distrito_La_Molina.pdf
- Espinoza, A. 2010. Aptitud de *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros aglomerados con cemento. Tesis Ing. Forestal. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina. 72 p.
- Estrada, M. 2010. Extracción y **caracterización** mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos (en línea). Tesis Mg. Ingeniería. CO. Universidad de los Andes. 146 p. Consultado 20 may. 2016. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia3.pdf>
- Fabiyi, J. 2010. Effect of wood species on property and weathering performance of wood plastic composites. p. 1434-1440.
- _____; McDonald, A; Wolcott, M; Griffiths, P. 2008. Wood plastic composites weathering visual appearance and chemical changes. *Polymer Degradation and Stability*. 93(8): 1405-1414.
- Fajardo, L; Campomanes, R. 2015. Efecto del intemperismo natural del sur del Brasil en el desempeño mecánico de la madera plástica de PP/bambú. VIII congreso internacional de materiales. CO.
- Fengel, D; Wegener, W. 1988. *Wood*. NY. 613 p.
- Fu, SY; Lauke, B; Mai, YW. 2009. Extrusion compounding and injection moulding. *Science and engineering of Short Fibre Reinforced Polymer Composites*. p. 6-28.
- Fuentes, F; Silva, J; Quintana, F; Turrado, J; Cárdenas, A; Rodríguez, R; Robledo, J. 2014. Comportamiento al intemperismo natural de compositos polipropileno-madera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6(27): 102-113.
- Galdos, J. 2007. Aptitud del Bambú *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros de partículas de densidad media. Tesis Ing. forestal. Lima, PE. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ghavami, K; Marinho, A. 2005. Propiedades físicas e mecánicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 9: 107-114.

- Gomes, R; Nóbrega dos Santos, M; Miyazato, T; Navarro Peres de Freitas, P. 2005. Análise de intemperismo natural em chapas de partículas compostas de resíduos agroindustriais. *Madeira Arquitectura e Engenharia*. 17: 1-11.
- Hardcastle, H. 1999. Atlas material testing solutions (en línea). Consultado 3 mar. 2015. Disponible en: <http://atlas-mts.de/technical-information/library/design-of-experiment/weathering-experimenters-toolbox/>
- Hidalgo, O. 2003. *Bamboo: The Gift of the Gods*. Bogotá, CO. 553 p.
- Homkhiew, C; Ratanawilai, T; Thongruang, W. 2014. Effects of natural weathering on the properties of recycled polypropylene composites reinforced with rubberwood flour. *Industrial Crops and Products*. 56: 52-59
- Hung, KC; Cheng, YL; Wu, JH. 2012. Natural weathering properties of acetylated bamboo plastic composites. *Polymer Degradation and Stability*. 97: 1680-1685
- JM pisos. 2016. Deck sintético en madera compuesta W.P.C (en línea). Consultado 6 jun. 2016. Disponible en: <http://juan-felipe-guevara.tripod.com/PRESENTACION%20DECKS.pdf>
- Joseph PV; Rabello, MS; Mattoso, LHC; Joseph, K; Thomas, S. 2002. Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites. *Compos Sci Technol*. 62: 1357-1372
- Khalil, A; Alwani, M; Islam, M; Suhaily, S; Dungani, R; H'ng, Y; Jawaid, Y. 2015. The use of bamboo fibres as reinforcements in composites. *Biofiber Reinforcements in Composites Materials*. p. 488-524
- Klyosov, A. 2007. *Wood-Plastic Composites*. New Jersey, USA. John Wiley & Sons. 698 p.
- Kozłowski, R; Władysław-Przybylak, M. 2004. Uses of natural fiber reinforced plastics. *Natural Fibers, Plastics and Composites*. p. 249-257
- Ku, H. 2011. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*. 42(4): 856-873
- Lázaro, K. 2016. Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del material compuesto bambú-plástico. Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Leong, Y.; Thitithanasarn, S.; Yamada, K.; Hamada, H. 2014. Compression and injection molding techniques for natural fiber composites. *Natural Fibre Composites: Materials, processes and applications*. p. 216-232

- Llerena, L. 2008. Experiencia de implementación de un Plan de Gestión Integral de la caña Guayaquil (*Guadua angustifolia*) en La Florida-Cajamarca. Lima, PE. Tesis Ing. Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Londoño, X; Camayo, G; Riaño, N; López, Y. 2010. Caracterización anatómica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth (Poaceae: Bambusoide) (en línea). Bamboo, Science & Culture. The journal of American Bamboo Society. 16(1): 18-31. Consultado 02 feb. 2016. Disponible en: <http://www.fundeguadua.org/imagenes/DESARROLLOS%20TECNOLOGICOS/ARTICULOS%20Y%20PUBLICACIONES/CARACTERIZACION%20ANATOMICA%20DEL%20CULMO%20DE%20Guadua%20angustifolia%20Kunth.pdf>
- López, E; Cavazos, R; Delgado, M. 2003. Caracterización de superficies maquinadas por medio de parámetros de rugosidad. Ingenierías. 6(18): 62-68
- López, L; Correal, J. 2009. Estudio exploratorio de laminados de bambú *Guadua angustifolia* como material estructural. Maderas Ciencia y tecnología. CO. 11(3): 171-182
- López, L; Silva, M. 2000. Comportamiento sismo-resistente de estructuras en bahareque. Master's thesis. Manizales, CO. Universidad nacional de Colombia.
- Lucana, D. 2008. Diseño de un molde para la fabricación de probetas de materiales compuestos de matriz plástica y refuerzos de fibras naturales mediante compresión térmica. Lima, PE. Tesis Ing. Mecánico. Pontificia Universidad Católica del Perú. 111 p.
- Majewski, T; Błędzki, A. 2013. Desarrollo y aplicaciones actuales de los plásticos reforzados por fibras naturales, Hidalgo, MX. Memorias del XIX congreso internacional anual de la SOMIM. p. 676-682.
- Malleux, J. 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 (en línea). Consultado 10 ene. 2016. Disponible en: http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/INVENTARIO%20DE%20BOSQUES%20DE%20BAMBU%20PD428-1.pdf
- Ministerio de Agricultura DGCA. 2011. Bambú: Biología, Cultivo, Manejo y Usos en el Perú. 3^{era} ed. Lima, PE. 64 p.
- Mohanty, A; Misra, M; Hinrichsen, G. 2000. Biofibras, biodegradable polymers and biocomposites an overview. Macromolecular Materials and Engineering. 276-277: 1-24
- Morrell, J; Stark, N; Pendleton, D; McDonald, A. 2006. Durability of Wood-Plastic Composites. Wood design focus. 16 (3): 7-10

- Moscoso, J. 2007. Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión (en línea). Tesis Graduación. Quito, Ecuador. Escuela politécnica Nacional. Consultado 28 abr. 2016. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/1500/352>
- Moya, C; Poblete, H; Valenzuela, L. 2012. Propiedades físicas y mecánicas de compuestos de polietileno reciclado y harinas de corteza de madera de *Pinus radiata* fabricados mediante moldeo por inyección (en línea). Maderas. Ciencia y tecnología. 14(1): 13-29. Consultado 03 mar. 2016. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S0718-221X2012000100002
- Partanen, A; Carus, M. 2016. Wood and natural fiber composites current trend in consumer goods and automotive parts. Reinforced Plastics. 4 p.
- Pisos JM. 2016. Deck sintético en madera compuesta WPC (en línea). Consultado 5 jun. 2016. Disponible en: <http://juan-felipe-guevara.tripod.com/PRESENTACION%20DECKS.pdf>
- Powertech machine. 2014. WPC Products (en línea). Consultado 15 abr. 2016. Disponible en: http://www.wpcmachine.com/wpc_products_1.html
- Qiu, W; Endo, T; Hirotsu, T. 2005. A novel technique for preapring of maleic anhydride grafted polyolefins. European polymer journal. 41(9): 1979-1984.
- Q-Lab Corporation. 2011. Outdoor weathering: Basic exposure procedures (en línea). Technical bulletin LL-9025. Consultado 5 jun. 2016. Disponible en: <http://www.q-lab.com/documents/public/2058b034-a8c2-4d8b-831b-6fe949c9053e.pdf>
- Rahal, M; Sleiman, S. 2013. Estudio de factibilidad técnico, económico y financiero para la producción de compuestos de madera y plástico en Venezuela. Tesis Ing. Industrial. Universidad católica Andrés Bello. 86 p.
- Rodríguez, R; Fuentes, F. 2003. Factores que intervienen en el proceso de envejecimiento de la madera. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 9(1): 95-100.
- Rodríguez, R. 2015. Entrevista al director de la estación meteorológica de UDEP en TV Perú (en línea). Consultado 26 nov. 2015. Disponible en: <http://udep.edu.pe/hoy/2015/desde-mediados-de-diciembre-se-empezaran-a-sentir-los-efectos-de-la-onda-kelvin/>
- Rojas, R. 2003. Materiales compuestos a partir de matriz vinílica y refuerzos fibrosos recuperados de desechos de curtiembre. Tesis Ing. Químico. Quito, EC. Escuela politécnica Nacional. 211 p.

- Rolleri, A. 2003. Characterization of Wood-based panels surfaces by contact and non-contact methods (en línea). The Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology of Georg August University Göttingen. 146 p. Consultado 15 may. 2016. Disponible en: <http://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-0006-B165-D/rolleri.pdf?sequence=1>
- Rolleri, A; Roffael, E. 2006. Rugosidad de tableros de fibra de densidad media (MDF) usando método de contacto y no contacto (en línea). *Bosque*. 27 (1): 72-77. Consultado 15 may. 2016. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002006000100009
- Rosa, S; Santos, E; Ferreira, C; Nachtigall, S. 2009. Studies on the Properties of Rice-Hulk-Filled-PP Composites- Effect of Maleated PP (en línea). *Materials Research*. 12(3): 333-338. Consultado 18 ene. 2016. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/mr/v12n3/v12n3a14.pdf>
- Rosato, D; Rosato, D.V; Rosato, M. 2004. Compression Molding. *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*. p. 439-454.
- Rowell, R. 2005. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC Press. 475 p.
- _____. 2006. *Advances and Challenges of Wood Polymer Composites*. Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium. Kuala Lumpur, Malasia. p. 4.
- Samal, SK; Mohanty, S; Nayak, SK. 2009. Polypropylene-bamboo/glass fibre hybrid composites: fabrication and analysis of mechanical, morphological, thermal and dynamic mechanical behavior. 28: 2729-47
- Satyanarayana, K; Aizaga, G; Wypych, F. 2009. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers-An overview. *Progress in Polymer Science* 34: 982-1021.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú), 2016a. Datos históricos- estación Von Humbolt. Información del clima y agua. (En línea). Oficina de estadística. Consultado 01 abr. 2016. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.pe/>
- _____. 2016b. Datos diarios-estación Chosica. Información del clima y agua. Departamento de atención al cliente.
- _____.; DGER-MEM (Dirección General de Electrificación Rural, Ministerio Nacional de Energía y Minas). 2003. *Atlas de Energía Solar del Perú* (en línea). Consultado 27 feb. 2015. Disponible en: <http://deltavolt.pe/atlas/atlassolar>
- Sierra exportadora. 2012. Programa nacional de innovación e industrialización de defensa ribereña. Informe de Consultorias (en línea). Consultado 20 mar. 2015. Disponible en: <http://www.sierraexportadora.gob.pe/programas/bambu/>

- Sinmazçelik, T. 2006. Natural weathering effects on the mechanical and Surface properties of polyphenylene sulphide (PPS) composites. *Materials and Design*. 27: 270-277
- Stark, N. 1997. Effect of species and particle size on properties of Wood-Flour-Filled Polypropylene Composites. *Functional Fillers for Thermoplastics and Thermosets*. p. 8-10.
- _____. 2007. Considerations in the Weathering of Wood-Plastic Composites, Bordeaux: 3rd. Wood Fiber Polymer Composites International Symposium.
- _____; Gardner, D. 2008. Outdoor durability of wood-polymer composites. *Wood-Polymer Composites: A volume in Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*. p. 142-165.
- _____; Matuana, L. 2007. Characterization of weathered wood-plastic composite surfaces using FTIR spectroscopy, contact angle, and XPS (en línea). Consultado 1 mar. 2014. Available at: http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2007/fpl_2007_stark003.pdf
- _____; Matuana, L; Clemons, C. 2003. Effect of processing method on accelerated weathering of Wood Flour-HDPE Composites. *The seventh international conference on wood fiber-plastic composites (and other natural fibers)*. p. 79-87
- Sudhakara, P; Jagadeesh, D; Wang, Y; Prasad, C; Kamala, A; Balakrishnan, G; Kim, B; Song, J. 2013. Fabrication of *Borassus* fruit lignocellulose fiber/PP composites and comparison with jote, sisal and coir fibers. *Carbohydrate Polymers* 98: 1002-1010
- Takahashi, J. 2006. Perú Bambú (en línea). Consultado 5 mar. 2015. Disponible en: http://perubambu.org.pe/pdf/Bambu_en_el%20Peru.pdf
- Tatara, R. 2011. Compression Molding. *Applied Plastics Engineering Handbook: Processing and Materials*. Department of technology, Northern University, USA. p. 289-309.
- Tecnología del plástico, E. 2008. Lo que se debe saber sobre compuestos de plástico y madera (en línea). Consultado 15 dic. 2015. Disponible en: <http://www.plastico.com/temas/Lo-que-debe-saber-sobre-compuestos-de-plastico-y-madera+3066365?pagina=1>
- _____. 2012. Tecnología del plástico (en línea). Consultado 6 mar. 2015. Disponible en: <http://www.plastico.com/temas/WPC-sigue-en-la-cima+3089777>
- Trebordeck. 2016. Información técnica, tarimas (en línea). Consultado 5 jun. 2016. Disponible en: <http://www.treborimex.com/files/Informacion%20Tecnica%20Trebordeck%20v4.pdf>
- Treborimex. 2016. Documentación técnica, tarimas (en línea). Consultado 5 jun. 2016. Disponible en: <http://www.treborimex.com/files/TREBORDECK.pdf>
- Tsai, S; Miravete, A. 1988. Diseño y análisis de materiales compuestos. Edit Reverte S.A. 568 p.

- Vallejos, M. 2006. Aprovechamiento integral de la *Cannabis sativa* como material de refuerzo/carga de polipropileno. Tesis Doctoral Industrias Textiles y Papeleras. Cataluña, ES. Universitat de Girona. 341 p.
- Williams, R.S. 2010. Finishing of Wood. Wood Handbook. Wood as an Engineering Material. Wisconsin, USA. 16: 2-37.
- Wolcott, M; Englund, K. 1999. A technology review of Wood-Plastic Composites, Washington state University: 33th. Int. Particle board composites material symposium.
- Wypych, G. 2013. Handbook of material weathering. 5 ed. Toronto: Chem Tec Publishing. 744 p.
- X-rite. 2002. Guía para entender la comunicación del color (en línea). Consultado 5 jun. 2016. Disponible en: http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001_Understand_Color_es.pdf
- Yang, HS; Kim, HJ; Park, HJ; Lee, BJ; Hwang, TS. 2007. Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composites. *Composite Structures* 77(1): 45-55.
- Yang, TH; Yang, TH; Chao, WC; Leu, SY. 2015. Characterization of the property changes of extruded wood-plastic composites during year around subtropical weathering. *Construction and Building Materials* 88:159-168.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

DATOS DE LOS PARÁMETROS CLIMÁTICOS EN CHOSICA Y LA MOLINA DURANTE EL ENSAYO DE INTEMPERISMO

Fecha	CHOSICA					LA MOLINA					
	T°max	T°min	T°prom	HR%	PP (mm)	Fecha	T°max	T°min	T°prom	HR%	PP (mm)
19-ago	24,9	13,4	19,6	65,1	0	17-ago	22,2	13,6	16,7	79,7	0
02-sep	24,3	14,7	19,5	76,2	0	31-ago	21,8	15,9	17,7	79,7	0
16-sep	26,4	14,2	17,7	82,7	0	14-sep	21,9	15,8	17,9	81,5	0
30-sep	24,2	14,7	19	79,2	0	28-sep	18,8	15	16,5	82,8	0
14-oct	26,1	15,1	19,8	74,3	0	12-oct	22,4	15,7	18,1	79,1	0,1
28-oct	28,7	16	20,8	74,5	0	26-oct	20,9	17	18,3	81,5	0
11-nov	29,8	15,4	19,2	77,3	0	09-nov	23,5	16,6	18,9	74	0
25-nov	24,6	18,2	21,5	72	0	23-nov	23,5	16,6	18,8	82,3	0,5
09-dic	22,3	16,8	22,2	70,1	0	07-dic	20,9	17,2	18,8	81,2	0
23-dic	27,8	18	20,3	88,3	0	21-dic	23,1	18,8	20,3	82,6	0
06-ene	29,7	18,9	24	67,8	0	04-ene	28,1	18,7	23	71,1	0
20-ene	28	18,3	22,1	76,7	0	18-ene	29,9	19,2	24,1	68,1	0
03-feb	26	19,4	22,5	84,7	0	01-feb	28,2	20,5	23,9	74,7	0
17-feb	28,1	19,6	24,3	70,6	0	15-feb	29,5	20,5	24,6	71,8	0

T°: Temperatura en °C, HR: humedad relativa, PP: precipitación.

FUENTE: SENAMHI (2016).

ANEXO 2

DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE COLOR EN CHOSICA (CH) DURANTE EL INTEMPERISMO

L* (CH)														
Código probeta	19-ago	02-sep	16-sep	30-sep	14-oct	28-oct	11-nov	25-nov	09-dic	23-dic	06-ene	20-ene	03-feb	17-feb
F1 1	43,2	47,1	51,4	56,5	61,6	63,2	61,5	61,7	64,3	62,4	64,9	63,2	61,6	60,6
F1 2	42,7	46,2	51,7	57	61,7	62,9	64,1	62,2	59,9	61,9	63,2	63,1	62,9	62,2
F1 3	47,6	51,7	55,4	55,6	61,7	61,1	59,5	61,8	60,9	58,2	59,5	59,5	59,4	59,4
F1 4	42,3	48,7	53,9	58	64,3	62,8	62,5	61,3	61,2	59,4	62,5	61,7	60,9	58,6
F1 5	38,5	43,9	46,6	47,9	52,3	55	59,2	56,9	56,1	59,4	59,2	59,4	59,5	59,4
F1 6	37,8	42,9	46,5	48,9	53,6	55,7	58,6	57,8	57,6	58,6	61,2	60,4	59,6	60
F1 7	38,9	47,1	51,3	53	58,9	59,7	58,7	58,2	58,1	59,8	61,2	60,4	59,6	59,2
Promedio	41,6	46,8	51	53,8	59,2	60,1	60,6	60	59,7	60	61,7	61,1	60,5	59,9
F2 1	37,9	42,2	47	47,9	54	53,4	53,3	56,3	56,2	62,4	58,3	57,8	57,3	56,6
F2 2	37,7	44,4	49,8	50,9	56,7	57	58,8	58,5	56,4	59,4	60,2	59,5	58,7	57,1
F2 3	35,9	42,3	46,6	47,4	53,3	57,4	57,1	57,5	55,7	59,8	58,5	58	57,5	56,6
F2 4	38,2	44,5	49,7	50,4	55,5	55	54,7	55,2	52,1	58,6	59,3	58,2	57,2	57,2
F2 5	42,4	50,5	56	56,8	62,3	62,6	60,1	60,9	59,2	61,9	60,3	59,9	59,6	58,5
F2 6	42,2	49,3	55,9	56,9	61,4	61,4	62,4	61,3	60,3	59,4	60,1	58,8	57,4	58,7
F2 7	43,2	51	55,5	56,3	62,2	61	61,1	57,5	58,3	58,2	60,3	60	59,7	58,1
Promedio	39,6	46,3	51,5	52,4	57,9	58,3	58,2	58,2	56,9	60	59,6	58,9	58,2	57,5

Continuación de L* (CH)														
Código probeta	19-ago	02-sep	16-sep	30-sep	14-oct	28-oct	11-nov	25-nov	09-dic	23-dic	06-ene	20-ene	03-feb	17-feb
F3 1	34,5	37	41,7	44,1	48,3	48,8	53,3	56	53	58,7	57,9	57,4	56,9	56,4
F3 2	40,1	41,5	45,1	47,7	51,6	52,2	55,5	56,3	55,2	59,3	59,3	59,1	58,8	57,5
F3 3	37,9	40,5	44,4	46,7	59,2	55,3	55	54	52	54,8	56,2	55,5	55,6	56,8
F3 4	40,5	44,2	49,2	55,8	59,2	58,9	59,2	59,3	57	60,6	61,8	61,3	60,7	60,1
F3 5	39,6	43,8	48,9	56,1	56,1	53,1	57,8	58,2	54,7	61,2	62,4	61,2	59,9	60,2
F3 6	39,1	43,3	48,4	51	58,6	56,9	57,9	58,3	57,1	59,8	61,8	60,6	59,4	58,4
F3 7	40,3	42,9	46,9	50,7	60,4	58,9	62	59,1	57,5	60,9	62,6	61,8	60,9	60,9
Promedio	38,9	41,9	46,4	50,3	56,2	54,9	57,2	57,3	55,2	59,3	60,3	59,6	58,9	58,6
F4 1	42,8	45,6	48,9	56,2	60,5	60,6	61,1	62,2	60,7	62,8	63,1	62,1	61	60,3
F4 2	49	49,1	52,2	54,8	60,4	59,2	60,7	61,9	59,8	61,8	63	61,9	60,8	59,9
F4 3	45,4	48,8	51,1	55,9	60,3	59,2	61,5	61,4	61,2	63,9	64,3	62,1	59,8	60
F4 4	44	45,8	49,9	53	58,2	57,4	61,1	62,6	62,7	63,8	62,9	62,3	61,7	60,4
F4 5	47,3	49,5	52,6	55,5	59,8	58,8	61,3	62,8	61	62,5	66,5	63,7	60,8	61,9
F4 6	43,3	46,3	49,9	55,3	60,3	59,4	60,8	62	60,3	64	63,2	62,4	61,6	61,2
F4 7	39,4	43,2	49,2	51,7	57,6	55,8	59	61	58,1	62,2	62,2	61,2	60,1	59,4
Promedio	44,5	46,9	50,5	54,6	59,6	58,6	60,8	62	60,5	63	63,6	62,2	60,8	60,4

L*: claridad, CH: Lugar de exposición Chosica.

FUENTE: Elaboración propia.

a* (CH)														
Código probeta	19-ago	02-sep	16-sep	30-sep	14-oct	28-oct	11-nov	25-nov	09-dic	23-dic	06-ene	20-ene	03-feb	17-feb
F1 A1	10,8	9,1	7,9	8	5,3	4,6	5	5,3	3,6	3	2,4	2,3	2,1	1,7
F1 A2	10,2	8,4	7,4	7,6	5,5	5,1	5	4,5	4,2	3	2,6	2,4	2,1	1,4
F1 A3	10,4	8,4	7,7	7,7	5,4	5,5	5,4	4,1	4,2	3,2	3,2	2,7	2,2	2,2
F1 A4	11,2	8,6	7,8	7,7	4,7	5,1	4,9	4,9	4,2	3,1	2,6	2,5	2,4	1,5
F1 A5	9,6	7,3	7,5	7,7	5,9	5,6	5	5,1	4,6	3,2	3,2	2,9	2,7	1,9
F1 A6	9,6	8,1	8	7,1	5,6	4,9	4,8	4,5	4	3	2,8	2,5	2,3	1,6
F1 A7	11,5	8,2	7,8	7,6	5,7	5	5,2	4,6	4,5	2,9	3	2,6	2,2	1,9
Promedio	10,5	8,3	7,7	7,6	5,4	5,1	5	4,7	4,2	3,1	2,8	2,6	2,3	1,7
F2 A1	9,7	8,2	7,5	8	6,3	6,4	6,4	5,4	5,1	4	4,1	3,5	2,8	2,2
F2 A2	10,5	8,3	7,7	7,6	5,8	5,5	5	5,2	5,7	3,4	3,3	2,8	2,3	2,2
F2 A3	10,4	8,5	7,8	8,1	6,4	5,5	5,6	5	5	3,8	3,7	2,9	2,2	1,8
F2 A4	11,3	8,9	8,1	7,8	6,1	6	5,9	4,6	4,7	3,9	3,1	2,7	2,4	2
F2 A5	10,2	7,8	7,5	7,2	5,3	5,1	5,5	4,8	4,5	3,5	3,4	3,1	2,7	2,2
F2 A6	10,4	8,2	7,3	6,9	5,5	5	4,6	4,3	3,5	2,6	2,9	2,8	2,6	2,1
F2 A7	10,1	7,5	7	7	5,1	5	5,1	5,1	4,1	3	3	2,8	2,6	2,1
Promedio	10,4	8,2	7,6	7,5	5,8	5,5	5,4	4,9	4,7	3,5	3,4	2,9	2,5	2,1
F3 A1	8,7	8	7,9	7,4	6,4	5,8	5,2	4,7	5	3,8	4,3	3,8	3,3	2,8
F3 A2	10,3	8,7	8,5	7,8	6,9	6,3	5,5	5,9	5,1	3,8	4,1	4	3,9	3,1
F3 A3	8,5	7,9	7,5	7,2	5,7	6,2	5,3	5,5	5,5	4	3,7	3,4	3,1	2,4
F3 A4	10,5	9	8,2	7,1	6	5,3	5,5	5,7	5,3	4,3	4,2	3,7	3,2	2,7
F3 A5	10,3	8,4	7,5	7,1	6,1	6,4	5,3	5,6	5,9	4,3	4,2	3,9	3,6	2,5
F3 A6	10,2	8,3	7,5	7,5	5,6	5,9	5,2	5,7	5,3	4,1	3,9	3,6	3,3	2,4

continuación de a* (CH)														
Código probeta	19-ago	02-sep	16-sep	30-sep	14-oct	28-oct	11-nov	25-nov	09-dic	23-dic	06-ene	20-ene	03-feb	17-feb
F3 A7	10,5	9,1	8,4	7,7	5,8	5,8	4,9	6	5,1	4,3	4,1	3,8	3,4	2,8
Promedio	9,9	8,5	7,9	7,4	6,1	6	5,3	5,6	5,3	4,1	4,1	3,7	3,4	2,7
F4 A1	9	7,4	7,1	6,5	4,9	5,2	4,8	4,9	4,8	3,4	3,7	3,4	3,1	2,3
F4 A2	8,9	8	7,3	7	5,2	5,4	5,1	5,1	4,6	3,7	3,8	3,4	2,9	2,2
F4 A3	9,2	7,6	7,6	6,4	5,1	5,2	4,7	5,1	4,6	3,5	3,6	3,4	3,2	1,9
F4 A4	10	7,7	7,3	6,9	5,3	5	4,9	4,9	4,5	3,6	3,3	3,2	3	2,2
F4 A5	9	7,9	7,3	6,6	5,3	5,5	4,8	5,2	5,2	3,6	3,8	3,5	3,2	2,4
F4 A6	9,4	7,6	7,1	6,7	5,2	5,6	4,6	5	4,6	3,5	3,4	3,1	2,8	2,2
F4 A7	10	8	7,3	6,9	5,6	5,4	5,1	5,3	5	3,9	4,1	3,8	3,4	2,4
Promedio	9,4	7,7	7,3	6,7	5,2	5,3	4,9	5,1	4,8	3,6	3,7	3,4	3,1	2,2

a*: coordenada de color, CH: lugar de exposición Chosica.

FUENTE: Elaboración propia.

b* (CH)														
Código probeta	19-ago	02-sep	16-sep	30-sep	14-oct	28-oct	11-nov	25-nov	09-dic	23-dic	06-ene	20-ene	03-feb	17-feb
F1 A1	22,7	20	20,5	20,9	16,2	13,8	14,4	15,1	12	9,7	8,6	8,1	7,5	6,6
F1 A2	21,6	18,9	18,7	20	17,4	14,4	13,5	13,8	13,1	9,8	8,7	8	7,4	5,8
F1 A3	23,1	20,6	21	20,6	15,7	14,6	14,7	13,3	12,1	10,6	9,8	8,6	7,4	7,4
F1 A4	21,9	19,3	19,9	20	15,3	13,9	14,3	14,5	13,1	10,2	8,6	8,2	7,9	6,3
F1 A5	20,2	16,5	18,3	18,1	14,9	13,5	12,8	13,1	13,2	9,9	9	8,5	8,1	6,6
F1 A6	19,7	17,1	18	16,8	13,7	12,8	12,7	12,8	11,9	9,2	8,1	7,7	7,3	6,4

Continuación de b* (CH)														
Código probeta	19-ago	02-sep	16-sep	30-sep	14-oct	28-oct	11-nov	25-nov	09-dic	23-dic	06-ene	20-ene	03-feb	17-feb
F1 A7	21,4	18,5	19,6	18,4	16	13,8	14,2	13,3	13,2	9,9	9	8,3	7,7	6,8
Promedio	21,5	18,7	19,4	19,3	15,6	13,8	13,8	13,7	12,7	9,9	8,8	8,2	7,6	6,6
F2 A1	19,4	17,4	18,1	18,7	16,1	14,8	15,1	14,1	13,7	11,1	10,7	9,8	8,8	7,9
F2 A2	19,5	17,6	17,7	17,6	15,3	13,6	13,8	14,5	14,1	10,7	10	8,9	7,9	7,3
F2 A3	19,9	17,3	18,5	18,9	16,5	13,7	14,1	13,9	13,5	10,5	9,9	8	7,8	7,4
F2 A4	20,6	18,4	19,2	19,1	15,8	14,4	14,5	13,6	13,2	10,6	9,5	8,8	8	7,3
F2 A5	19,4	19,4	19	18,2	16,4	15,1	15,3	14,5	14	11,4	10	9,5	9,1	8,1
F2 A6	21,6	19,8	19,3	18,3	16,8	15,3	13,3	13,5	12	9,3	9,1	8,9	8,8	7,8
F2 A7	20,1	19,2	18,7	18,3	16	15,3	14,9	15,6	13,1	10,3	10,7	9,7	8,8	7,5
Promedio	20,1	18,4	18,6	18,4	16,1	14,6	14,4	14,2	13,4	10,6	10	9,1	8,5	7,6
F3 A1	15,2	14,8	16	15,8	14,2	13,9	12,1	12,8	13	10,3	10,6	9,8	9	8,4
F3 A2	19,9	16,7	18,6	17,9	15,7	14,1	13,4	14,5	12,7	10,4	10,9	10,4	9,8	9,3
F3 A3	16,4	15,1	16,6	16,2	15,5	16	14,6	14,5	14,5	11,5	10,6	9,9	9,2	8,1
F3 A4	20,1	18,2	19,3	19,4	17,2	15,5	15,7	15,5	15,6	11,9	11,3	10,5	9,7	8,9
F3 A5	19,4	17,3	18,6	19,4	16,5	16,8	14,3	14,8	15,3	12	11,7	11,2	10,7	8,4
F3 A6	18,8	17,4	18,1	19,4	15,9	16,3	13,8	14,9	14,5	11,9	11,6	10,8	10,1	8,6
F3 A7	20,3	18,8	19,5	18,9	17,2	16,7	15,1	15,8	15,1	12,1	11,7	10,8	9,9	9
Promedio	18,6	16,9	18,1	18,1	16	15,6	14,1	14,7	14,4	11,4	11,2	10,5	9,8	8,7
F4 A1	17,7	16	16,7	17,6	15,5	15,6	14	14,1	14,1	11,4	10,8	10,5	10,2	8,6
F4 A2	20,1	19	18,4	18,6	16,3	16	15,3	15	14,4	12,5	11,1	10,6	10,1	8,6
F4 A3	19,5	17,7	19	17,8	15,8	15,5	13,8	14,8	14,3	11,6	10,9	10,4	10	7,6
F4 A4	19,3	17,3	17,7	18	15,7	14,9	13,8	14,5	14	11,7	10,2	9,8	9,5	8,3

Continuación de b* (CH)														
Código probeta	19-ago	02-sep	16-sep	30-sep	14-oct	28-oct	11-nov	25-nov	09-dic	23-dic	06-ene	20-ene	03-feb	17-feb
F4 A5	19,8	17,9	18,1	18,2	16,3	15,8	14,7	14,7	14,9	11,7	11,1	10,5	10	8,8
F4 A6	19,7	17,9	17,7	18	15,8	15,2	14,3	14,6	14,3	11,6	10,4	10	9,6	8,3
F4 A7	18,4	17	18	17,5	15,8	14,6	13,8	13,9	13,9	11,2	11,2	10,3	9,5	8,2
Promedio	19,2	17,5	17,9	18	15,9	15,4	14,2	14,5	14,3	11,7	10,8	10,3	9,8	8,3

b*: coordenada de color, CH: lugar de exposición Chosica.

FUENTE: *Elaboración propia.*

ΔE CHOSICA														
Código probeta	19-ago	02-sep	16-sep	30-sep	14-oct	28-oct	11-nov	25-nov	09-dic	23-dic	06-ene	20-ene	03-feb	17-feb
F1 A	Prom	0	6,4	10	12,8	19,3	20,8	21,3	21,3	23,1	25,1	25,1	25,1	25,4
	D.E	0	1,6	1,9	2,8	3	2,6	2,7	2,1	2,5	2,8	2,2	1,8	1,9
F2 A	Prom	0	7,3	12,3	13,2	19,3	20	20,1	19,5	23,6	23,5	23,4	23,3	23,4
	D.E	0	1,1	1,6	1,8	1,4	2,1	2,5	1,8	2,6	2	2	2	1,6
F3 A	Prom	0	3,9	7,8	11,8	18	16,9	19,5	17,6	22,5	23,5	23,1	22,9	23,3
	D.E	0	0,9	1,7	3,3	3,5	2,5	1,9	1,7	2,1	1,9	1,8	1,5	1,2
F4 A	Prom	0	3,5	6,6	10,6	16,1	15,3	17,7	17,5	20,9	21,7	20,8	20	20,7
	D.E	0	1	1,9	2,6	2,4	2,5	2,5	2,7	3	2,2	2,3	2,5	1,9

ΔE: Variación de color.

FUENTE: *Elaboración propia.*

ANEXO 3

DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE COLOR EN LA MOLINA (LM) DURANTE EL INTEMPERISMO

L * (LM)														
Código probeta	17-ago	31-ago	14-sep	28-sep	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	01-feb	15-feb
F5 A1	41,5	45,5	50,9	52,1	51,1	54	57,2	55,3	54,3	55,2	54,9	55,2	55,5	56
F5 A2	43,4	45,9	50,9	50,8	52,2	54,3	55,8	57,8	54,5	55,8	56,1	56,8	57,5	58,2
F5 A3	42,5	45,7	50,4	52	51,9	50,7	55,2	57,9	55	55,5	56,2	56,3	56,3	57,7
F5 A4	35,5	40,1	46,7	49,4	50	52	55,7	57	56,4	55,9	55,7	56,4	57	57,9
F5 A5	38,3	42,9	50,1	51,9	52,7	54,1	55,8	56,7	56,9	56,8	56	56,7	57,3	57,4
F5 A6	36,7	42,3	49,5	52,5	52,4	54,6	57,7	61,3	58,8	60,4	59,6	59,2	58,8	58,8
F5 A7	39,7	45,1	53,4	56,2	56,1	56,2	58,8	58,3	56	58,1	57,8	58,1	58,3	58,7
Promedio	39,7	43,9	50,3	52,1	52,3	53,7	56,6	57,8	56	56,8	56,6	57	57,2	57,8
F6 A1	46,5	51,2	56,8	57,9	57,5	56,8	57,9	55,6	56,6	57,2	58	58,3	58,6	58,8
F6 A2	44	48,5	54,5	56,1	56,2	57	57,7	57,3	56,8	56,6	56,3	56,5	56,8	57
F6 A3	44,4	49,1	54,6	55,8	55,6	56,2	57,7	55,7	54,7	55,9	55	56,1	57,2	56,4
F6 A4	44	49,5	55,9	58	57,8	59,1	59,4	58,8	57,6	57,3	58	58,3	58,6	58,7
F6 A5	33	37,1	43,3	44,5	44,7	47,4	48,8	52,9	50,8	52,1	52,6	53,5	54,3	55,4
F6 A6	36,8	39,2	44,8	46,3	47	49	50,8	51,7	53,3	53,3	53,3	53,9	54,5	54,6
F6 A7	33,4	37,8	42,7	44,6	45,5	46,3	49,4	53,7	52,5	54,7	53,2	53,2	53,1	53
Promedio	40,3	44,6	50,4	51,9	52	53,1	54,5	55,1	54,6	55,3	55,2	55,7	56,2	56,3

Continuación de L * (LM)														
Código probeta	17-ago	31-ago	14-sep	28-sep	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	01-feb	15-feb
F7 A1	34,5	37	41,7	44,1	48,3	48,8	53,3	56	53	58,7	57,9	57,4	56,9	56,4
F7 A2	40,1	41,5	45,1	47,7	51,6	52,2	55,5	56,3	55,2	59,3	59,3	59,1	58,8	57,5
F7 A3	37,9	40,5	44,4	46,7	59,2	55,3	58,2	57,4	54,9	58,2	59,7	59	59	60,4
F7 A4	40,5	44,2	49,2	55,8	59,2	58,9	59,2	59,3	57	60,6	61,8	61,3	60,7	60,1
F7 A5	39,6	43,8	48,9	56,1	56,1	53,1	57,8	58,2	54,7	61,2	62,4	61,2	59,9	60,2
F7 A6	39,1	43,3	48,4	51	58,6	56,9	57,9	58,3	57,1	59,8	61,8	60,6	59,4	58,4
F7 A7	40,3	42,9	46,9	50,7	60,4	58,9	62	59,1	57,5	60,9	62,6	61,8	60,9	60,9
Promedio	38,9	41,9	46,4	50,3	56,2	54,9	57,7	57,8	55,6	59,8	60,8	60,1	59,4	59,1
F8 A1	44,7	50,1	55,9	57,2	57,5	58,6	59,3	59,9	59,1	57,4	56	56,4	56,8	56,6
F8 A2	41,1	48	54,4	56,8	55	57,1	58,8	58,9	59	58,3	58,5	58,3	58,1	58
F8 A3	42,4	47,1	52,5	54,3	54,4	56,2	58,7	60,3	59,9	59,6	59,4	59,6	59,8	58,2
F8 A4	44,3	50,5	56,1	58	58,3	58,6	60,2	59,2	58,7	58,3	57,7	58,3	58,8	57,7
F8 A5	44,9	49,4	54	55,6	56,1	57,1	56,6	59,4	58,1	57,8	57,6	57,5	57,3	57,7
F8 A6	39	47,1	51,1	53,3	53,9	55,1	59,2	58,6	58,1	57,7	57,5	57,7	58	57,4
F8 A7	40,1	45,5	53,7	52,2	56,1	56,9	57,9	60	59,9	59,1	58	58,2	58,3	58,5
Promedio	42,4	48,2	54	55,3	55,9	57,1	58,7	59,5	59	58,3	57,8	58	58,2	57,7

L*: claridad, LM: lugar de exposición La Molina.

FUENTE: Elaboración propia.

a* (LM)														
Código probeta	17-ago	31-ago	14-sep	28-sep	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	01-feb	15-feb
F5 A1	10,3	7,8	6,5	5,9	5,6	4,8	3,9	3,5	3,4	2,9	2,8	2,5	2,2	2,1
F5 A2	9,9	7,8	6,4	6,6	5,2	4,7	4,5	3,6	3,5	3	2,9	2,6	2,3	2
F5 A3	10,8	7,9	6,6	5,8	5,7	5,3	4,4	3,7	3,7	3,6	3,4	3,2	2,9	2,2
F5 A4	11,7	8,8	7,1	6,4	6	5,5	4,9	3,9	3,4	3,4	3	2,7	2,4	2,3
F5 A5	10,9	8,1	6,3	5,9	5,3	4,9	4,4	3,9	3,1	3	2,8	2,5	2,1	2,3
F5 A6	11,4	8,3	6,7	5,7	5,4	4,8	4,2	3,5	3,2	3	2,7	2,5	2,2	2,2
F5 A7	11,1	7,7	5,9	5	4,7	4,1	4	3,4	3,4	2,6	2,3	2,1	1,8	1,9
Promedio	10,9	8,1	6,5	5,9	5,4	4,9	4,3	3,6	3,4	3,1	2,8	2,6	2,3	2,1
F6 A1	9,3	6,9	5,4	4,4	4,2	3,9	3,6	3	2,6	2,6	2,5	2,5	2,4	2
F6 A2	9,5	7,2	5,8	5,1	4,7	4,2	4,3	3,4	2,9	3	2,5	2,4	2,4	2,2
F6 A3	9	7	5,4	4,9	4,5	4,1	3,9	3,3	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2
F6 A4	10,6	8,1	6,1	5,1	5	4,1	3,9	3,1	2,8	2,8	2,5	2,2	1,9	2,1
F6 A5	10,2	8,3	7,4	7,3	7,2	6,1	6,1	4,9	4,8	4,4	3,8	3,5	3,1	2,9
F6 A6	9,9	8,4	7,3	7	6,7	6,1	5,8	4,9	3,9	3,7	3,3	2,9	2,4	2,6
F6 A7	10,3	8,6	7,9	7,2	7,1	6,7	6,2	4,4	4,8	3,8	4	3,6	3,1	2,9
Promedio	9,8	7,8	6,5	5,9	5,6	5	4,8	3,9	3,5	3,3	3	2,8	2,5	2,4
F7 A1	8,7	8	7,9	7,4	6,4	5,8	5,2	4,7	5	3,8	4,3	3,8	3,3	2,8
F7 A2	10,3	8,7	8,5	7,8	6,9	6,3	5,5	5,9	5,1	3,8	4,1	4	3,9	3,1
F7 A3	8,5	7,9	7,5	7,2	5,7	6,2	5,3	5,5	5,5	4	3,7	3,4	3,1	2,4
F7 A4	10,5	9	8,2	7,1	6	5,3	5,5	5,7	5,3	4,3	4,2	3,7	3,2	2,7
F7 A5	10,3	8,4	7,5	7,1	6,1	6,4	5,3	5,6	5,9	4,3	4,2	3,9	3,6	2,5
F7 A6	10,2	8,3	7,5	7,5	5,6	5,9	5,2	5,7	5,3	4,1	3,9	3,6	3,3	2,4

continuación de a* (LM)

Código probeta	17-ago	31-ago	14-sep	28-sep	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	01-feb	15-feb
F7 A7	10,5	9,1	8,4	7,7	5,8	5,8	4,9	6	5,1	4,3	4,1	3,8	3,4	2,8
Promedio	9,9	8,5	7,9	7,4	6,1	6	5,3	5,6	5,3	4,1	4,1	3,7	3,4	2,7
F8 A1	9,5	6,9	5,8	5,2	4,9	4,3	4,3	3,5	3	3,2	3,2	2,9	2,5	2,9
F8 A2	10,3	7,6	6,3	5,3	5,3	4,6	4,4	3,3	3,1	2,7	2,5	2,4	2,3	2,4
F8 A3	8,8	6,9	5,9	5,4	5	4,4	4,3	3,4	3,2	2,9	2,9	2,8	2,6	2,2
F8 A4	9,5	7	5,7	4,8	4,7	4	4,1	3,2	3,1	2,7	2,9	2,7	2,4	2,7
F8 A5	9	7,1	5,8	5,1	4,8	4,5	4,5	3,5	3	3	2,8	2,4	2	2,3
F8 A6	9,6	7,1	5,6	4,9	4,6	4,3	4,4	3,7	3,4	3,1	3,2	3	2,8	2,9
F8 A7	10,4	6,7	5,7	5,2	4,8	4,4	4,3	3,5	3,3	3,1	2,7	2,6	2,5	2
Promedio	9,6	7	5,8	5,1	4,9	4,4	4,3	3,4	3,2	3	2,9	2,7	2,4	2,5

a*: coordenada de color, LM: lugar de exposición La Molina.

FUENTE: Elaboración propia.

b* (LM)

Código probeta	17-ago	31-ago	14-sep	28-sep	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	01-feb	15-feb
F5 A1	20	16,6	16,3	14,4	13,7	12,1	12	10,4	10,5	9,2	9,4	8,8	8,2	7,8
F5 A2	20,9	16,9	16	14,9	13	12,3	12	10,5	10,5	9,4	9,8	9,1	8,4	7,8
F5 A3	22	18	16,2	14,3	13,8	12,9	12,1	11,5	11,3	10,3	10	9,6	9,2	7,7
F5 A4	22,5	17,1	16,1	14,8	14	13	12,6	10,7	10,1	9,6	9,5	8,7	7,9	7,4
F5 A5	21,1	17	15,8	14,1	13,2	12,1	11,8	11,1	10	9,6	9,4	8,7	8	7,8

Continuación de b* (LM)

Código probeta	17-ago	31-ago	14-sep	28-sep	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	01-feb	15-feb
F5 A6	20,7	16,9	15,9	13,9	13	12,3	11,4	9,9	10,1	9,1	8,9	8,5	8,1	7,6
F5 A7	22,5	17,6	16	14,2	13,4	11,7	11,9	10,4	10,4	9,1	8,6	8,1	7,5	6,7
Promedio	21,4	17,2	16	14,4	13,4	12,3	12	10,6	10,4	9,5	9,4	8,8	8,2	7,5
F6 A1	20,2	16,8	15,4	12,6	12,1	11,5	10,8	10,1	9,3	9	9,1	8,6	8,1	7,3
F6 A2	20,4	16,7	15,8	14	13	12,1	11,7	10,6	10,1	9,4	8,8	8,4	8	7,9
F6 A3	18,9	17,1	15,6	13,5	12,7	12,1	11	10,8	10,2	9,6	9,4	8,8	8,1	7,9
F6 A4	22,9	19,6	16,9	14,5	13,6	12,2	11,6	10,3	10,2	9,9	9	8	7	7,7
F6 A5	21,9	16,6	16,4	16,1	15	13,4	13,5	12,5	11,8	10,6	10,4	9,7	9	8,5
F6 A6	18,8	16,1	16,1	14,9	14,2	13,7	13,1	11,6	11	10,1	9,8	9,3	8,8	8,3
F6 A7	21,3	16,2	17	16,1	15	15,1	13,8	11,2	12,2	10,2	11	10	9	9
Promedio	20,6	17	16,2	14,5	13,7	12,9	12,2	11	10,7	9,8	9,6	9	8,3	8,1
F7 A1	20,6	17,6	18,3	17,7	17,1	16,6	16	13,9	13,8	13	11,8	11	10,2	10,6
F7 A2	20,5	17,2	17,7	15,5	14,9	13,8	13,7	11,4	11,3	10,3	9,7	9,2	8,6	9,6
F7 A3	19,3	16,5	15,7	13,8	12,8	12,1	12,3	10,9	10,5	9,9	10,3	9,6	8,9	8,4
F7 A4	18	14,1	13,9	12,2	11,9	11,4	11,3	9,5	9,7	9,3	9	8,6	8,1	7,8
F7 A5	15,8	14	13,9	13,2	12,9	12,1	12,5	11,5	11,2	9,5	9,5	9,4	9,3	9,4
F7 A6	17,3	12,6	13,7	12,8	12,3	12,3	11,7	10,5	10,3	9,5	9,7	9,4	9	9,6
F7 A7	18,2	15,7	15,4	14,9	14,6	13,8	12,9	12,8	12,2	10,8	11	10,3	9,6	9,2
Promedio	18,5	15,4	15,5	14,3	13,8	13,2	12,9	11,5	11,3	10,3	10,1	9,6	9,1	9,2
F8 A1	20	16,2	15,9	14,1	13,2	12,4	12,4	10,7	10,2	9,6	10,1	9,3	8,5	8,7
F8 A2	19	16,2	15,9	14,2	14,3	13	12,3	10,3	10,1	9,1	8,6	8,3	8	7,8
F8 A3	18,8	15,8	15,6	14,5	13,6	12,5	12,3	10,8	10,6	9,6	9,3	8,8	8,3	8,1

continuación de b* (LM)														
Código probeta	17-ago	31-ago	14-sep	28-sep	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	01-feb	15-feb
F8 A4	19,5	16,7	15,8	14,2	13,4	12,3	12	10,6	10,2	9,5	9,3	8,6	7,9	8,2
F8 A5	20,4	17	15,8	13,9	13,1	12,6	12,5	10,5	10	9,4	8,9	8,1	7,3	7,5
F8 A6	17,3	15,6	14,3	12,8	11,9	11,9	12,5	10,7	10,6	9,4	9,8	9,1	8,3	7,9
F8 A7	18,8	15	15,2	15,2	13,2	12,3	11,8	10,3	10,3	9,7	9,4	8,8	8,2	8
Promedio	19,1	16,1	15,5	14,1	13,2	12,4	12,3	10,6	10,3	9,5	9,3	8,7	8,1	8

b*: coordenada de color, LM: lugar de exposición La Molina.

FUENTE: Elaboración propia.

ΔE LA MOLINA														
Código probeta	17-ago	31-ago	14-sep	28-sep	12-oct	26-oct	09-nov	23-nov	07-dic	21-dic	04-ene	18-ene	01-feb	15-feb
F5 A	Prom	0	6,7	12,7	16	17,9	20,5	22,3	21,1	22,4	22,4	23	23,7	24,5
	D.E	0	1,1	2,4	3	3,1	3,2	3,7	3,9	3,7	3,6	3,4	3,3	2,9
F6 A	Prom	0	6,1	11,5	13,7	15,8	17,4	18,8	18,8	19,8	19,9	20,7	21,5	21,8
	D.E	0	1,1	1,6	2	2,1	1,7	3,5	2,6	3,2	3	3,1	3,1	3
F7 A	Prom	0	4,7	8,4	12,6	17,4	20,3	20,7	18,9	23,3	24,3	23,9	23,6	23,5
	D.E	0	1,1	1,6	3,1	2,6	1,8	1,3	1,2	1,1	0,8	0,7	0,9	1,3
F8 A	Prom	0	7,2	12,8	14,7	17,1	18,6	20,2	20	19,9	19,6	20,2	20,7	20,4
	D.E	0	1	1,5	1,5	1,3	2,2	1,7	1,8	1,9	2,1	1,8	1,6	1,7

ΔE: Variación de color.

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 4

DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DURANTE EL INTEMPERISMO EN CHOSICA Y LA MOLINA

<i>CHOSICA (Ra μm)</i>												
Código probeta	<i>0 meses de intemperismo</i>				<i>3 meses de intemperismo</i>				<i>6 meses de intemperismo</i>			
	1	2	3	prom	1	2	3	prom	1	2	3	prom
F1 R1	1,7	1,5	1,6	1,6	1,8	2,0	2,3	2,0	2,5	3,3	4,7	3,5
F1 R2	1,2	1,6	1,8	1,5	3,4	6,9	4,3	4,9	4,7	13,1	9,4	9,1
F1 R3	2,9	1,9	3,4	2,7	4,6	2,2	3,3	3,4	5,5	4,8	7,1	5,8
F1 R4	2,2	1,7	2,0	2,0	3,3	3,7	1,9	2,9	6,3	9,2	7,7	7,7
PROM	2,0				3,3				6,5			
D.E.	0,5				1,0				2,1			
F2 R1	5,6	3,4	3,7	4,2	6,4	4,6	7,6	6,2	9,5	7,8	8,4	8,6
F2 R2	2,2	2,5	2,6	2,4	2,5	2,5	2,8	2,6	3,5	4,3	3,9	3,9
F2 R3	9,3	7,8	1,8	6,3	-	8,1	4,1	6,1	9,9	9,9	8,7	9,5
F2 R4	2,6	1,9	2,5	2,3	4,5	7,4	3,0	4,9	5,4	8,2	8,6	7,4
PROM	3,8				5,0				7,3			
D.E.	1,6				1,5				2,1			
F3 R1	1,8	2,3	1,9	2,0	2,5	3,7	3,5	3,2	4,1	5,3	5,8	5,1
F3 R2	2,6	1,7	2,1	2,1	2,5	2,7	2,8	2,6	5,9	4,2	6,0	5,3
F3 R3	1,6	2,9	3,2	2,6	1,8	2,9	2,9	2,5	5,9	11,1	13,7	10,3
F3 R4	4,3	1,4	2,4	2,7	2,1	2,3	5,0	3,1	10,6	11,0	8,9	10,2
PROM	2,3				2,9				7,7			
D.E.	0,3				0,3				2,5			
F4 R1	2,6	2,1	2,1	2,2	5,5	4,3	8,2	6,0	10,4	8,3	11,9	10,2
F4 R2	7,2	6,0	1,8	5,0	4,4	8,6	3,8	5,6	11,3	3,6	5,7	6,9
F4 R3	4,3	2,7	1,7	2,9	5,9	2,7	6,1	4,9	7,6	5,8	4,4	5,9
F4 R4	2,5	3,1	3,5	3,0	3,0	3,7	7,4	4,7	4,3	5,2	9,0	6,2
PROM	3,3				5,3				7,3			
D.E.	1,0				0,5				1,7			

FUENTE: Elaboración propia.

LA MOLINA (Ra μm)												
Código probeta	0 meses de intemperismo				3 meses de intemperismo				6 meses de intemperismo			
	1	2	3	prom	1	2	3	prom	1	2	3	prom
F5 R1	3,59	2,03	1,72	2,45	3,37	2,78	3,01	3,05	6,32	7,25	8,42	7,33
F5 R2	1,25	1,24	2,11	1,53	1,76	3,49	4,22	3,16	4,53	5,1	6,23	5,29
F5 R3	2,19	2,16	2	2,12	2,56	2,12	2,22	2,30	6,32	5,85	5,43	5,87
F5 R4	2,19	1,56	1,53	1,76	2,65	3,89	2,24	2,93	4,23	2	2,37	2,87
PROM	1,96				2,86				5,34			
D.E.	0,35				0,33				1,61			
F6 R1	1,76	1,98	2,48	2,07	3,71	3,27	3,61	3,53	4,65	5,23	5,94	5,27
F6 R2	1,86	3,41	3,09	2,79	2,8	3,64	5,11	3,85	2,76	4,44	5,74	4,31
F6 R3	8,24	1,71	2,37	4,11	9,05	2,47	3,59	5,04	3,67	2,82	3,35	3,28
F6 R4	2,12	1,79	3,33	2,41	3,7	2,87	2,97	3,18	5,6	4,78	5,36	5,25
PROM	2,85				3,90				4,53			
D.E.	0,77				0,70				0,82			
F7 R1	2,93	3,02	3,84	3,26	2,78	3,15	3,24	3,06	5,98	6,7	5,4	6,03
F7 R2	2,12	2,08	1,9	2,03	2,6	2,52	2,71	2,61	4,69	4,35	5,78	4,94
F7 R3	2,07	1,95	3,1	2,37	2,45	2,18	3,16	2,60	7,35	6,58	7,89	7,27
F7 R4	1,79	1,23	2,29	1,77	2,44	1,79	2,86	2,36	6,3	5,4	6,74	6,15
PROM	2,36				2,66				6,10			
D.E.	0,56				0,25				0,83			
F8 R1	2,32	1,76	1,64	1,91	5,66	3,17	2,9	3,91	7,96	7,2	4,5	6,55
F8 R2	1,83	4,96	6,4	4,40	4,72	4,62	6,17	5,17	5,89	5,73	8	6,54
F8 R3	3,78	4,95	1,47	3,40	5,36	5,76	5,21	5,44	6,57	7,13	6,98	6,89
F8 R4	8,92	3,99	5,82	6,24	6,99	8,02	10,77	8,59	7,8	8,9	11,5	9,40
PROM	3,99				5,78				7,35			
D.E.	1,58				1,72				1,19			

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 5

DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD DESPUÉS DEL INTEMPERISMO EN CHOSICA Y LA MOLINA

CHOSICA												
Código de probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)					Peso (g)	Peso seco (g)	CH (%)	DENSIDAD (g/cm ³)	
			e1	e2	e3	e4	prom.					
F ₁ D1	76,40	25,53	2,54	2,44	2,52	2,52	2,51	4,50	4,27	1,61	0,87	
F ₁ D2	76,03	25,09	2,34	2,37	2,39	2,36	2,37	4,46	4,15	2,23	0,92	
F ₁ D3	75,94	25,32	2,31	2,30	2,36	2,63	2,40	4,45	4,20	1,80	0,91	
F ₁ D4	76,05	25,24	2,56	2,37	2,45	2,52	2,48	4,38	4,19	1,36	0,88	
F ₁ D5	75,99	25,13	2,33	2,38	2,38	2,57	2,42	4,37	4,16	1,49	0,90	
F ₁ D6	75,87	25,39	2,36	2,49	2,52	2,42	2,45	4,36	4,14	1,60	0,88	
F ₁ D7	75,99	24,93	2,31	2,31	2,67	2,31	2,40	4,35	4,19	1,15	0,92	
PROM.										1,61	0,90	
D.E.										0,34	0,02	
F2 D1	76,52	25,57	2,44	2,43	2,44	2,53	2,46	4,51	4,27	2,75	0,89	
F2 D2	76,10	25,38	2,37	2,39	2,48	2,33	2,39	4,42	4,29	1,53	0,93	
F2 D3	76,17	25,27	2,50	2,43	2,54	2,63	2,53	4,69	4,51	2,06	0,93	
F2 D4	76,19	25,52	2,35	2,31	2,38	2,45	2,37	4,44	4,17	3,17	0,90	
F2 D5	75,90	25,54	2,41	2,58	2,52	2,47	2,50	4,43	4,24	2,30	0,88	
F2 D6	76,24	25,58	2,37	2,36	2,35	2,44	2,38	4,37	3,82	7,20	0,82	
PROM.										3,17	0,89	
D.E.										2,05	0,04	

Continuación-Chosica												
Código de probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)					Peso (g)	Peso seco (g)	CH (%)	DENSIDAD (g/cm ³)	
			e1	e2	e3	e4	E prom.					
F3 D1	76,14	25,16	2,42	2,41	2,33	2,66	2,46	4,32	4,13	1,43	0,88	
F3 D2	76,23	25,42	2,48	2,49	2,45	2,50	2,48	4,74	4,59	0,97	0,95	
F3 D3	76,18	25,47	2,51	2,62	2,69	2,51	2,58	4,75	4,59	1,05	0,92	
F3 D4	76,04	25,09	2,48	2,40	2,56	2,39	2,46	4,41	4,24	1,20	0,90	
F3 D5	76,11	25,38	2,48	2,49	2,49	2,48	2,49	4,49	4,23	1,84	0,88	
F3 D6	76,39	25,45	2,50	2,53	2,53	2,56	2,53	4,65	4,38	1,85	0,89	
F3 D7	76,17	25,09	2,44	2,62	2,77	2,51	2,59	4,31	4,06	1,85	0,82	
PROM										1,46	0,89	
D.E.										0,39	0,04	
F4 D1	76,13	25,27	2,44	2,41	2,52	2,41	2,45	4,56	4,35	2,43	0,92	
F4 D2	76,05	25,10	2,46	2,44	2,38	2,52	2,45	4,20	3,96	3,06	0,85	
F4 D3	75,94	25,29	2,52	2,54	2,43	2,46	2,49	4,72	4,54	2,01	0,95	
F4 D4	76,37	25,58	2,31	2,30	2,36	2,63	2,40	4,56	4,16	4,72	0,89	
F4 D5	75,88	25,22	2,49	2,46	2,39	2,52	2,47	4,19	3,94	3,13	0,84	
F4 D6	75,94	25,23	2,51	2,62	2,69	2,51	2,58	4,34	4,19	1,82	0,85	
PROM										2,86	0,88	
D.E.										1,05	0,05	

FUENTE: Elaboración propia.

LA MOLINA												
Código de probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)				Peso (g)		Peso seco (g)		CH (%)	DENSIDAD (g/cm ³)
			e1	e2	e3	eprom.	Inicial		1 mes			
F5 D1	76,22	25,46	2,60	2,58	2,56	2,58	4,38		4,24	1,01	0,85	
F5 D2	76,08	25,41	2,44	2,46	2,39	2,43	4,46		4,30	1,11	0,92	
F5 D3	76,21	25,45	2,52	2,60	2,42	2,51	4,41		4,26	1,07	0,87	
F5 D4	76,32	25,51	2,43	2,52	2,46	2,47	4,53		4,37	1,10	0,91	
F5 D5	76,06	25,26	2,46	2,40	2,55	2,47	4,35		4,18	1,19	0,88	
F5 D6	76,01	25,53	2,49	2,59	2,40	2,49	4,52		4,37	1,00	0,90	
F5 D7	76,04	25,12	2,48	2,67	2,44	2,53	4,43		4,27	1,10	0,88	
PROM.										1,10	0,89	
D.E.										0,06	0,02	
F6 D1	76,11	25,29	2,49	2,64	2,42	2,52	4,28		4,14	1,69	0,85	
F6 D2	76,06	25,41	2,50	2,46	2,47	2,48	4,45		4,32	1,58	0,90	
F6 D3	76,04	25,28	2,51	2,48	2,54	2,51	4,63		4,45	2,09	0,92	
F6 D4	76,06	25,39	2,55	2,49	2,54	2,53	4,44		4,25	2,17	0,87	
F6 D5	76,14	25,36	2,43	2,54	2,46	2,48	4,30		4,14	2,03	0,86	
F6 D6	75,97	25,17	2,50	2,51	2,47	2,49	4,27		4,10	2,00	0,86	
PROM.										1,93	0,88	
D.E.										0,24	0,03	

Continuación-La Molina												
Código de probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)			Peso (g)	Peso seco (g) 1 mes	CH (%)	DENSIDAD (g/cm ³)			
			e1	e2	e3					e prom.		
F7 D1	76,24	25,34	2,59	2,60	2,59	2,59	4,90	4,74	1,05	0,95		
F7 D2	76,24	25,44	2,54	2,57	2,59	2,57	4,77	4,62	0,99	0,93		
F7 D3	75,92	25,24	2,59	2,66	2,62	2,62	4,44	4,31	0,92	0,86		
F7 D4	75,81	25,42	2,48	2,56	2,52	2,52	4,39	4,25	0,98	0,88		
F7 D5	76,19	25,48	2,59	2,58	2,52	2,56	4,41	4,27	0,97	0,86		
F7 D6	75,92	25,33	2,63	2,53	2,64	2,60	4,49	4,35	0,98	0,87		
F7 D7	75,88	25,19	2,40	2,40	2,43	2,41	4,38	4,23	1,10	0,92		
PROM.									0,99	0,88		
D.E.									0,06	0,04		
F8 D1	76,03	25,24	2,59	2,66	2,50	2,58	4,52	4,33	2,24	0,87		
F8 D2	75,80	25,18	2,44	2,54	2,38	2,45	4,28	4,09	2,24	0,87		
F8 D3	76,07	25,24	2,51	2,49	2,64	2,55	4,25	4,07	2,30	0,83		
F8 D4	75,95	25,19	2,53	2,50	2,49	2,51	4,65	4,46	2,14	0,93		
F8 D5	76,17	25,44	2,48	2,67	2,32	2,49	4,41	4,28	1,59	0,89		
F8 D6	76,10	25,15	2,61	2,65	2,53	2,60	4,07	3,90	2,20	0,78		
F8 D7	76,14	25,33	2,56	2,57	2,57	2,57	4,61	4,45	1,78	0,90		
PROM.									2,04	0,87		
D.E.									0,27	0,05		

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 6

DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN E HINCHAMIENTO DESPUÉS DEL INTEMPERISMO EN CHOSICA Y LA MOLINA

COD PROB		CHOSICA																					
		2 HORAS SUMERGIDO					24 HORAS SUMERGIDO					ABSORCIÓN N (%)		HINCHAMIENTO O (%)									
		ESPESOR (mm)			PESO gr	ESPESOR (mm)			PESO gr	ESPESOR (mm)			PESO gr	ESPESOR (mm)		2H	24H	2H	24H				
C1	C2	D	I	prom	C1	C2	D	I	prom	C1	C2	D	I	prom	C1	C2	D	I	prom	2H	24H	2H	24H
F1 A1	4,44	2,4	2,5	2,4	2,42	4,62	2,4	2,4	2,6	2,3	2,4	4,77	2,4	2,5	2,6	2,3	2,4	4,05	7,53	0,72	0,62		
F1 A2	4,25	2,3	2,3	2,5	2,34	4,4	2,3	2,3	2,5	2,3	4,51	2,3	2,4	2,3	2,6	2,4	3,39	6,1	0,21	1,28			
F1 A3	4,32	2,4	2,3	2,3	2,36	4,5	2,4	2,3	2,3	2,4	4,63	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	4,08	7,09	0,63	1,06			
F1 A4	4,16	2,4	2,2	2,3	2,35	4,4	2,4	2,2	2,4	2,5	4,4	2,5	2,3	2,5	2,4	2,4	5,7	5,79	1,49	0,96			
F1 A5	4,36	2,4	2,4	2,5	2,46	4,55	2,5	2,4	2,5	2,5	4,72	2,5	2,4	2,5	2,5	2,5	4,18	8,13	0,51	0,71			
F1 A6	4,28	2,3	2,3	2,6	2,39	4,44	2,3	2,4	2,6	2,3	4,57	2,3	2,4	2,6	2,3	2,4	3,73	6,94	0,21	0,73			
F1 A7	4,37	2,4	2,4	2,3	2,38	4,52	2,4	2,4	2,5	2,4	4,67	2,4	2,4	2,6	2,4	2,4	3,47	6,9	1,89	2,32			
PROM																	4,09	6,92	0,81	1,1			
D.E.																							
F2 A1	4,5	2,5	2,5	2,6	2,56	4,83	2,5	2,5	2,7	2,6	2,6	5,26	2,6	2,5	2,7	2,7	2,6	7,28	16,94	0,78	1,57		
F2 A2	4,57	2,5	2,5	2,6	2,54	4,88	2,6	2,6	2,6	2,7	5,31	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	6,71	16,05	1,67	2,36			
F2 A3	4,27	2,6	2,5	2,7	2,61	4,71	2,6	2,6	2,7	2,7	5,23	2,7	2,6	2,7	2,7	2,7	10,33	22,48	1,44	2,4			
F2 A4	4,36	2,4	2,4	2,3	2,36	4,53	2,4	2,4	2,3	2,4	4,69	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	3,92	7,56	1,38	2,12			
F2 A5	4,44	2,4	2,4	2,4	2,4	4,61	2,4	2,4	2,4	2,4	4,76	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	3,88	7,25	0,52	0,63			
F2 A6	4,35	2,3	2,4	2,4	2,36	4,53	2,3	2,3	2,5	2,3	4,68	2,4	2,4	2,5	2,3	2,4	4,11	7,62	0,11	1,17			

Continuación-Chosica																										
COD PROB	(0 hr) acondicionado a 50°						2 HORAS SUMERGIDO						24 HORAS SUMERGIDO						ABSORCIÓN (%)	HINCHAMIENTO O (%)						
	PESO			ESPESOR (mm)			PESO			ESPESOR (mm)			PESO			ESPESOR (mm)				2H	24H	2H	24H			
	C1	C2	I	D	I	prom	C1	C2	D	I	prom	C1	C2	D	I	prom	C1	C2						D	I	prom
F2 A7	4,48	2,4	2,5	2,6	2,51	4,7	2,5	2,5	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5	5,04	8,93	0,2	1,29	
PROM																							5,89	12,4	0,87	1,65
D.E.																										
F3 A1	4,27	2,4	2,4	2,6	2,4	4,42	2,4	2,5	2,6	2,4	2,5	2,4	2,4	2,6	2,4	2,4	2,5	2,6	2,6	2,4	2,5	3,52	8,15	0,72	1,23	
F3 A2	4,59	2,5	2,6	2,6	2,5	4,77	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	3,81	8,03	0,89	1,28	
F3 A3	4,35	2,5	2,5	2,4	2,7	4,52	2,5	2,5	2,4	2,7	2,5	2,5	2,4	2,4	2,7	2,5	2,5	2,4	2,4	2,7	2,5	4,11	9,77	0,4	0,99	
F3 A4	4,49	2,4	2,4	2,4	2,4	4,64	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	3,42	6,94	0,83	1,45	
F3 A5	4,33	2,7	2,5	2,6	2,5	4,53	2,7	2,5	2,7	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,5	2,7	2,5	2,7	2,7	2,5	2,6	4,55	9,04	0,39	0,88	
F3 A6	4,4	2,5	2,6	2,9	2,6	4,62	2,5	2,6	2,9	2,6	2,6	2,6	2,6	2,9	2,6	2,6	2,6	2,9	2,9	2,6	2,7	5,09	10,27	0,48	1,05	
F3 A7	4,37	2,6	2,5	2,8	2,4	4,59	2,6	2,5	2,8	2,4	2,6	2,4	2,4	2,8	2,4	2,6	2,6	2,8	2,4	2,6	2,6	5,13	11,24	0,68	1,07	
PROM																							4,23	9,06	0,63	1,14
D.E.																										
F4 A1	4,53	2,5	2,5	2,5	2,4	4,84	2,5	2,5	2,6	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	2,5	2,5	7	15,98	1,81	2,52	
F4 A2	4,46	2,5	2,6	2,5	2,5	4,77	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	6,97	16,62	1,29	1,58	
F4 A3	4,42	2,5	2,5	2,5	2,4	4,76	2,5	2,5	2,4	2,6	2,5	2,5	2,4	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,5	7,81	16,27	1,53	1,63	
F4 A4	4,48	2,6	2,4	2,6	2,3	4,63	2,6	2,4	2,6	2,3	2,5	2,5	2,4	2,6	2,3	2,4	2,4	2,6	2,4	2,6	2,4	3,43	6,72	0,82	0,92	
F4 A5	4,23	2,5	2,5	2,5	2,4	4,57	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,4	2,5	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,4	2,5	8,15	18,53	0,41	1,83	
F4 A6	4,03	2,4	2,4	2,5	2,4	4,43	2,4	2,4	2,6	2,4	2,5	2,4	2,4	2,6	2,4	2,5	2,4	2,6	2,6	2,4	2,5	10,03	21,82	0,92	2,36	
F4 A7	4,41	2,6	2,5	2,4	2,4	4,71	2,5	2,5	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4	2,5	2,6	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5	6,88	15,77	0,51	1,42	
PROM																							7,18	15,96	1,04	1,75
D.E.																										

FUENTE: Elaboración propia.

LA MOLINA																							
COD PROB	(0 hr) acondicionado a 50°					2 HORAS SUMERGIDO					24 HORAS SUMERGIDO					ABSORCIÓN N (%)		HINCHAMIENTO O (%)					
	ESPESOR (mm)					ESPESOR (mm)					ESPESOR (mm)					N (%)		O (%)					
	PESO gr	C1	C2	D	I	Prom	PESO gr	C1	C2	D	I	Prom	PESO gr	C1	C2	D	I	Prom	2H	24H	2H	24H	
F5 A1	4,36	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	4,53	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	4,69	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	4,02	7,51	1,12	1,94	
F5 A2	4,42	2,4	2,6	2,4	2,8	2,6	4,62	2,4	2,6	2,4	2,8	2,6	4,81	2,5	2,6	2,5	2,8	2,6	4,47	8,96	0,98	1,47	
F5 A3	4,29	2,5	2,4	2,5	2,4	2,5	4,45	2,5	2,4	2,6	2,4	2,5	4,57	2,5	2,4	2,6	2,5	2,5	3,69	6,6	0,61	0,91	
F5 A4	4,34	2,4	2,4	2,3	2,5	2,4	4,52	2,4	2,4	2,3	2,6	2,4	4,59	2,4	2,4	2,3	2,6	2,4	4,15	5,98	0,42	0,52	
F5 A5	4,33	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	4,51	2,4	2,4	2,6	2,4	2,4	4,59	2,4	2,4	2,6	2,5	2,5	4,07	6,21	0,72	1,03	
F5 A6	4,43	2,4	2,5	2,4	2,5	2,5	4,6	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	4,76	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,99	7,66	0,71	1,63	
F5 A7	4,4	2,4	2,5	2,6	2,4	2,5	4,58	2,5	2,5	2,4	2,6	2,5	4,72	2,5	2,6	2,5	2,7	2,6	4,23	7,35	1,52	4,57	
PROM																			4,09	7,18	0,87	1,72	
D.E.																							
F6 A1	4,14	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4	4,46	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	4,83	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4	7,82	16,85	1,56	1,88	
F6 A2	4,27	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3	4,44	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3	4,54	2,3	2,3	2,5	2,3	2,4	3,8	6,28	0,97	1,18	
F6 A3	4,33	2,4	2,5	2,4	2,5	2,4	4,67	2,5	2,5	2,4	2,6	2,5	5,07	2,5	2,5	2,5	2,6	2,5	7,86	17	2,05	2,56	
F6 A4	4,27	2,3	2,3	2,3	2,4	2,3	4,44	2,3	2,3	2,3	2,5	2,4	4,57	2,4	2,3	2,4	2,5	2,4	3,8	6,84	1,18	2,36	
F6 A5	4,27	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	4,62	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	4,94	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	8,31	15,68	1,65	1,44	
F6 A6	4,24	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	4,44	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	4,65	2,4	2,5	2,4	2,5	2,5	4,72	9,63	1,04	1,55	
F6 A7	4,04	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	4,39	2,4	2,4	2,6	2,4	2,5	4,85	2,5	2,4	2,6	2,5	2,5	8,54	19,95	1,03	1,54	
PROM																			6,41	13,17	1,35	1,79	
D.E.																							

ANEXO 7

DATOS PARA DETERMINAR EL ENSAYO DE FLEXIÓN

CHOSICA					LA MOLINA				
Código probeta	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Resist. máxima (MPa)	Modulo de elasticidad (GPa)	Código probeta	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Resist. máxima (MPa)	Modulo de elasticidad (GPa)
F1 F1	12,48	2,66	20,43	1,34	F5 F1	12,32	2,34	30,86	1,58
F1 F2	12,34	2,68	21,92	1,21	F5 F2	12,48	2,42	24,69	1,27
F1 F3	12,26	2,65	24,18	1,32	F5 F3	12,37	2,56	25,68	1,52
F1 F4	12,33	2,43	26,69	1,78	F5 F4	12,45	2,5	23,19	1,22
F1 F5	12,37	2,56	22,26	1,27	F5 F5	12,37	2,37	21,97	1,6
F1 F6	12,51	2,48	27,06	1,84	F5 F6	12,43	2,68	20,21	0,88
F1 F7	12,38	2,65	23,95	1,37	F5 F7	12,32	2,42	25,01	1,5
Prom			23,78	1,44	Prom			24,51	1,37
D.E.			2,46	0,25	D.E.			3,38	0,26
F2 F1	12,31	2,45	26,3	1,87	F6 F1	12,36	2,65	20,79	1,37
F2 F2	12,43	2,6	24,78	2,4	F6 F2	12,26	2,66	17,6	0,91
F2 F3	12,48	2,53	24,32	1,67	F6 F3	12,38	2,57	22,06	1,87
F2 F4	12,33	2,43	22,87	1,57	F6 F4	12,42	2,61	21,32	1,78
F2 F5	12,33	2,44	26,47	2,51	F6 F5	12,31	2,65	17,66	1,15
F2 F6	12,43	2,44	28,13	2,91	F6 F6	12,49	2,68	18,56	1,09
F2 F7	12,49	2,46	25,71	2,12	F6 F7	12,42	2,64	24,05	1,15
Prom			25,51	2,15	Prom			20,29	1,33
D.E.			1,7	0,49	D.E.			2,44	0,37
F3 F1	12,46	2,46	27,61	2,43	F7 F1	12,45	2,64	23,99	1,88
F3 F2	12,35	2,47	29,47	1,41	F7 F2	12,35	2,68	21,9	1,21
F3 F3	12,39	2,65	23,93	1,24	F7 F3	12,47	2,68	21,69	1,09
F3 F4	12,45	2,38	27,55	2,68	F7 F4	12,58	2,67	20,12	1,32
F3 F5	12,37	2,49	25,33	2,06	F7 F5	12,37	2,7	21,55	1,14
F3 F6	12,25	2,51	28,77	1,63	F7 F6	12,48	2,69	23,05	1,18
F3 F7	12,33	2,56	27,48	2,34	F7 F7	12,53	2,64	19,07	0,72
Prom			27,16	1,97	Prom			21,63	1,22
D.E.			1,92	0,55	D.E.			1,66	0,34
F4 F1	12,53	2,46	23,79	2,11	F8 F1	12,5	2,57	23,53	1,86
F4 F2	12,43	2,59	23,3	1,82	F8 F2	12,53	2,44	22,32	1,73
F4 F3	12,48	2,5	26,69	2,02	F8 F3	12,53	2,51	21,1	1,45
F4 F4	12,33	2,48	23,79	1,57	F8 F4	12,33	2,43	24,78	1,78
F4 F5	12,33	2,52	23,04	1,6	F8 F5	12,51	2,48	21,65	1,5
F4 F6	12,43	2,53	24,42	2,94	F8 F6	12,43	2,44	24,38	2,18
F4 F7	12,49	2,62	21,04	1,75	F8 F7	12,49	2,46	20,2	1,41
Prom			23,73	1,97	Prom			22,57	1,7
D.E.			1,69	0,47	D.E.			1,72	0,27

ANEXO 8

DATOS PARA DETERMINAR EL ENSAYO DE TENSION

CHOSICA					LA MOLINA				
Código probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Resist. máxima (MPa)	Modulo de elasticidad (GPa)	Código probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Resist. máxima (MPa)	Modulo de elasticidad (GPa)
F ₁ T1	2,55	12,78	12,3	1,12	F5 T1	2,58	12,82	17,6	1,47
F ₁ T2	2,62	12,7	13,1	1,19	F5 T2	2,68	12,78	15,7	1,05
F ₁ T3	2,72	12,72	12,6	1,33	F5 T3	2,52	12,72	12,3	2,28
F ₁ T4	2,60	12,72	14,4	1,62	F5 T4	2,7	12,72	12,5	1,14
F ₁ T5	2,70	12,64	13,7	0,91	F5 T5	2,55	12,76	16,4	1,17
F ₁ T6	2,63	12,71	12,4	0,83	F5 T6	2,65	12,67	17,6	1,17
F ₁ T7	2,69	12,78	14,3	1,3	F5 T7	2,69	12,74	14	1,27
Prom			13,25	1,18	Prom			15,16	1,36
D. E.			0,88	0,27	D. E.			2,25	0,42
F2 T1	2,54	12,73	13,1	1,47	F6 T1	2,62	12,82	16,5	1,5
F2 T2	2,47	12,83	15,3	1,39	F6 T2	2,59	12,75	13,8	1,39
F2 T3	2,54	12,83	9,77	0,81	F6 T3	2,62	12,77	16,3	2,01
F2 T4	2,54	12,85	11,5	1,15	F6 T4	2,58	12,66	15	2
F2 T5	2,53	12,83	12,7	1,48	F6 T5	2,58	12,82	16,3	2,04
F2 T6	2,61	12,82	14,8	1,35	F6 T6	2,62	12,81	12,3	1,23
F2 T7	2,57	12,8	12,3	1,24	F6 T7	2,68	12,82	13	1
Prom			12,78	1,27	Prom			14,74	1,59
D. E.			1,89	0,23	D. E.			1,73	0,42
F3 T1	2,65	12,89	15,5	1,41	F7 T1	2,58	12,92	18,5	1,54
F3 T2	2,79	12,89	13,1	0,87	F7 T2	2,56	12,69	17,5	1,25
F3 T3	2,53	12,97	10,2	1,21	F7 T3	2,73	12,77	16	1,45
F3 T4	2,50	12,88	17,5	1,35	F7 T4	2,46	12,78	15	1,15
F3 T5	2,52	12,92	16,8	1,12	F7 T5	2,58	12,86	18,1	1,06
F3 T6	2,64	12,95	10,6	1,61	F7 T6	2,52	12,71	16,2	1,25
F3 T7	2,79	12,83	17,7	1,36	F7 T7	2,66	12,66	15,1	1,16
Prom			14,49	1,28	Prom			16,63	1,26
D. E.			3,19	0,23	D. E.			1,41	0,17
F4 T1	2,63	12,85	17,3	2,14	F8 T1	2,47	12,78	14,4	1,53
F4 T2	2,57	12,77	18,7	1,87	F8 T2	2,5	12,75	13,1	1,01
F4 T3	2,58	12,71	15,9	1,79	F8 T3	2,45	12,85	12,6	1,43
F4 T4	2,6	12,87	17,8	1,78	F8 T4	2,56	12,75	9,89	1,14
F4 T5	2,54	12,8	14,5	1,71	F8 T5	2,51	12,93	9,78	1,19
F4 T6	2,6	12,84	12,9	1,17	F8 T6	2,55	12,8	14,9	1,35
F4 T7	2,55	12,8	13,5	1,75	F8 T7	2,56	12,86	13,2	1,74
Prom			15,08	1,74	Prom			12,55	1,34
D. E.			2,23	0,29	D. E.			2,02	0,25

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 9

DATOS PARA DETERMINAR EL ENSAYO DE IMPACTO DESPUÉS DEL INTEMPERISMO EN CHOSICA Y LA MOLINA

CHOSICA						
Código probeta	Espesor (mm)	Condiciones normales (23°C)				Observación
		Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Altura (m)	Energía (J)	
F1 I1		22,6	22,8	0,028	0,552	
F1 I2		22,6	23,2	0,025	0,492	
F1 I3		23,0	23,4	0,030	0,591	Falló
F1 I4		23,0	23,2	0,030	0,591	
F1 I5		23,0	23,2	0,025	0,492	
F1 I6		23,0	23,2	0,020	0,394	
F1 I7		23,0	23,4	0,030	0,591	Falló
F1 I8		22,6	23,4	0,020	0,394	
F1 I9		22,2	24,4	0,025	0,492	Falló
F1 I10		22,8	23,4	0,030	0,591	Falló
F1 I11		23,0	23,2	0,020	0,394	
F1 I12		22,6	22,8	0,030	0,591	
F1 I13		22,6	23,2	0,028	0,552	
F1 I14		22,6	23,4	0,025	0,492	
F1 I15		22,8	23,4	0,020	0,394	
F1 I16		23,0	23,2	0,025	0,492	
F1 I17		23,0	23,4	0,030	0,591	Falló
F1 I18		23,0	23,4	0,025	0,492	Falló
F1 I19		22,0	24,4	0,030	0,591	Falló
F1 I20		23,0	23,4	0,020	0,394	Falló
PROM					0,486	
D.E.					0,073	
F2 I1		22,6	23,2	0,020	0,394	
F2 I2		22,8	23,0	0,025	0,492	Falló
F2 I3		22,2	22,8	0,020	0,394	
F2 I4		22,4	22,8	0,030	0,591	Falló
F2 I5		22,0	22,8	0,020	0,394	
F2 I6		22,2	23,0	0,020	0,394	
F2 I7		22,6	23,0	0,025	0,492	Falló
F2 I8		22,4	23,0	0,028	0,552	Falló
F2 I9		22,6	23,2	0,030	0,591	Falló
F2 I10		22,6	23,0	0,030	0,591	
F2 I11		22,6	23,2	0,025	0,492	Falló
F2 I12		22,2	23	0,02	0,394	
F2 I13		22,6	23	0,02	0,394	

Continuación-Chosica						
Código probeta	Espesor (mm)	Condiciones normales (23°C)				Observación
		Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Altura (m)	Energía (J)	
F2 I14		22,4	23	0,02	0,394	
F2 I15		22,4	22,8	0,03	0,591	
F2 I16		22	22,8	0,02	0,394	
F2 I17		22,6	23	0,025	0,492	Falló
F2 I18		22,2	23	0,03	0,591	Falló
F2 I19		22,8	23	0,028	0,552	Falló
F2 I20		22,6	23,2	0,028	0,552	Falló
PROM					0,433	
D.E.					0,079	
F3 I1		22,4	23	0,02	0,394	
F3 I2		22,4	23	0,02	0,394	
F3 I3		22,4	23,2	0,025	0,492	Falló
F3 I4		22,2	22,8	0,03	0,591	Falló
F3 I5		22,2	22,8	0,025	0,492	
F3 I6		22	22,6	0,02	0,394	
F3 I7		22,4	23	0,025	0,492	Falló
F3 I8		22,4	22,8	0,025	0,492	
F3 I9		22,4	22,8	0,03	0,591	
F3 I10		22,2	22,8	0,02	0,394	
F3 I11		22,4	23	0,025	0,492	Falló
F3 I12		22,2	22,8	0,025	0,492	Falló
F3 I13		22,2	22,8	0,02	0,394	
F3 I14		22,2	22,8	0,025	0,492	
F3 I15		22,4	23,2	0,03	0,591	
F3 I16		22,4	22,8	0,02	0,394	
F3 I17		22,2	22,8	0,02	0,394	
F3 I18		22,2	22,8	0,02	0,394	
F3 I19		22	22,6	0,025	0,492	
F3 I20		22,4	23	0,03	0,591	Falló
PROM					0,45	
D.E.					0,072	
F4 I1		22,2	22,4	0,028	0,552	
F4 I2		22,4	22,8	0,025	0,492	
F4 I3		22,2	22,8	0,03	0,591	Falló
F4 I4		22,2	23,2	0,025	0,492	Falló
F4 I5		22,4	23,2	0,025	0,492	

Continuación-Chosica						
Código probeta	Espesor (mm)	Condiciones normales (23°C)				Observación
		Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Altura (m)	Energía (J)	
F4 I6		22,2	23,6	0,03	0,591	Falló
F4 I7		22,2	23,4	0,025	0,492	Falló
F4 I8		22,4	23,2	0,02	0,394	
F4 I9		22,4	23	0,03	0,591	Falló
F4 I10		22,4	22,8	0,03	0,591	Falló
F4 I11		22,2	23,6	0,03	0,591	Falló
F4 I12		22,4	22,8	0,025	0,492	Falló
F4 I13		22,4	23,2	0,025	0,492	
F4 I14		22,2	23,2	0,025	0,492	Falló
F4 I15		22,4	23,2	0,03	0,591	Falló
F4 I16		22,4	23,2	0,03	0,591	Falló
F4 I17		22,2	22,8	0,025	0,492	Falló
F4 I18		22,2	23,4	0,02	0,394	
F4 I19		22,2	22,4	0,028	0,552	
F4 I20		22,4	22,8	0,025	0,492	
PROM					0,483	
D.E.					0,057	

FUENTE: Elaboración propia.

LA MOLINA						
Código probeta	Espesor (mm)	Condiciones normales (23°C)				Observación
		Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Altura (m)	Energía (J)	
F5 I1		22,4	22,8	0,03	0,591	Falló
F5 I2		22,4	22,8	0,02	0,394	
F5 I3		22,2	22,6	0,02	0,394	
F5 I4		22,2	22,4	0,03	0,591	Falló
F5 I5		22,2	22,8	0,025	0,492	Falló
F5 I6		22,4	23,2	0,03	0,591	Falló
F5 I7		22,6	23	0,02	0,394	
F5 I8		22,6	22,8	0,02	0,394	
F5 I9		22,4	22,6	0,03	0,591	Falló
F5 I10		22,6	22,8	0,03	0,591	
F5 I11		22,2	22,6	0,03	0,591	Falló
F5 I12		22,6	23	0,03	0,591	Falló
F5 I13		22,6	22,8	0,03	0,591	Falló
F5 I14		22,4	22,8	0,02	0,394	

Continuación-La Molina						
Código probeta	Espesor (mm)	CONDICIONES NORMALES (23°C)				Observación
		Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Altura (m)	Energía (J)	
F5 I15		22,6	22,8	0,02	0,394	
F5 I16		22,4	22,6	0,03	0,591	
F5 I17		22,6	22,8	0,02	0,394	
F5 I18		22,4	22,8	0,02	0,394	
F5 I19		22,4	22,8	0,03	0,591	Falló
F5 I20		22,6	22,8	0,03	0,591	Falló
PROM					0,433	
D.E.					0,079	
F6 I1		22,2	22,6	0,025	0,492	
F6 I2		22,6	22,8	0,03	0,591	Falló
F6 I3		22,2	23	0,025	0,492	
F6 I4		22,2	23	0,02	0,394	
F6 I5		22,6	22,8	0,02	0,394	
F6 I6		22,4	23	0,02	0,394	Falló
F6 I7		22,2	22,8	0,03	0,591	Falló
F6 I8		22,4	22,8	0,02	0,394	Falló
F6 I9		22,4	23,2	0,025	0,492	
F6 I10		22,4	23,4	0,03	0,591	
F6 I11		22,6	22,8	0,02	0,394	
F6 I12		22,2	23	0,025	0,492	
F6 I13		22,2	22,6	0,025	0,492	
F6 I14		22,4	23	0,02	0,394	
F6 I15		22,4	23	0,025	0,492	
F6 I16		22,2	22,8	0,02	0,394	Falló
F6 I17		22,4	23,2	0,03	0,591	Falló
F6 I18		22,2	23	0,03	0,591	Falló
F6 I19		22,4	23,2	0,03	0,591	Falló
F6 I20		22,4	22,8	0,02	0,394	Falló
PROM					0,453	
D.E.					0,048	
F7 I1		22,2	23,2	0,03	0,591	Falló
F7 I2		22,4	22,6	0,03	0,591	Falló
F7 I3		22,4	22,8	0,03	0,591	
F7 I4		22,4	23,2	0,02	0,394	
F7 I5		22,4	23,2	0,02	0,394	
F7 I6		22,56	23	0,02	0,394	
F7 I7		22,62	23,4	0,03	0,591	Falló
F7 I8		22,6	22,6	0,03	0,591	Falló
F7 I9		22,4	23	0,04	0,788	

Continuación-La Molina						
Código probeta	Espesor (mm)	Condiciones normales (23°C)				Observación
		Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Altura (m)	Energía (J)	
F7 I10		22,4	23,6	0,03	0,591	
F7 I11		22,6	22,6	0,03	0,591	Falló
F7 I12		22,2	23,2	0,03	0,591	Falló
F7 I13		22,5	23	0,03	0,591	Falló
F7 I14		22,4	22,8	0,04	0,788	
F7 I15		22,62	23,4	0,03	0,591	
F7 I16		22,6	22,6	0,02	0,394	
F7 I17		22,56	23	0,02	0,394	
F7 I18		22,4	23,6	0,03	0,591	
F7 I19		22,6	23,4	0,03	0,591	Falló
F7 I20		22,4	23	0,02	0,394	Falló
PROM					0,525	
D.E.					0,147	
F8 I1		22,4	22,8	0,04	0,788	Falló
F8 I2		22,2	22,8	0,02	0,394	
F8 I3		22,4	22,6	0,03	0,591	
F8 I4		22,2	22,6	0,02	0,394	
F8 I5		22,2	23	0,02	0,394	
F8 I6		22	23	0,03	0,591	
F8 I7		22,2	23	0,03	0,591	
F8 I8		22,4	22,8	0,02	0,394	
F8 I9		22,6	22,8	0,03	0,591	
F8 I10		22,6	23	0,02	0,394	Falló
F8 I11		22,4	22,8	0,02	0,394	
F8 I12		22,2	23	0,04	0,788	Falló
F8 I13		22,2	23	0,03	0,591	
F8 I14		22,4	22,8	0,02	0,394	
F8 I15		22,2	23	0,03	0,591	
F8 I16		22	23	0,03	0,591	
F8 I17		22,4	22,6	0,02	0,394	
F8 I18		22,2	22,6	0,02	0,394	
F8 I19		22	23	0,03	0,591	
F8 I20		22,4	22,8	0,02	0,394	Falló
PROM					0,492	
D.E.					0,098	

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 10

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CAMBIO DE LA VARIACIÓN DE COLOR DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
Modelo	11	204,5757	18,5978	12,8	<,0001
Error	28	40,678	1,4528		
Total corregida	39	245,2538			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,928191	5,2952	1,2053	22,7625		
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
L	1	70,4903	70,4903	48,52	<0,0001
A	1	22,3203	22,3503	15,38	0,0005
P	1	71,0222	71,0223	48,89	<,0001
L*A	1	10,1003	10,1003	6,95	0,0135
L*P	1	1,8063	1,8063	1,24	0,2743
A*P	1	0,2103	0,2103	0,14	0,7065
L*A*P	1	0,0063	0,0063	0	0,9482

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 11

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RUGOSIDAD DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
Modelo	10	41,8248	4,1825	1	0,4738
Error	21	87,7884	4,1804		
Total corregida	31	129,6132			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,928191	31,36	2,0446	6,52		
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
L	1	15,3458	15,3458	3,67	0,0691
A	1	11,1156	11,1156	2,66	0,1179
P	1	0,3445	0,3445	0,08	0,7769
L*A	1	2,9646	2,9646	0,71	0,4092
L*P	1	0,0008	0,0008	0	0,9891
A*P	1	0,3403	0,3403	0,08	0,7782
L*A*P	1	5,4285	5,4285	1,3	0,2673

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 12

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
Modelo	11	11,7422	1,0675	9,05	<0,0001
Error	28	3,3044	0,118		
Total corregida	39	15,0465			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,928191	19,6752	0,3435	1,746		
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
L	1	2,0885	2,0885	17,7	0,0002
A	1	0,0221	0,0221	0,19	0,6686
P	1	8,7049	8,7049	73,76	<0,0001
L*A	1	0,0102	0,0102	0,09	0,7705
L*P	1	0,009	0,009	0,08	0,7845
A*P	1	0,1904	0,1904	1,61	0,2144
L*A*P	1	0,0063	0,0063	0,05	0,8197

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 13

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA DENSIDAD DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
Modelo	11	0,0146	0,00133	1,24	0,3108
Error	28	0,0301	0,0011		
Total corregida	39	0,0447			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,928191	3,6929	0,0328	0,8878		
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
L	1	0,0009	0,0009	0,84	0,3673
A	1	0,0001	0,0001	0,11	0,7382
P	1	0,0006	0,0006	0,52	0,4754
L*A	1	0,0003	0,0003	0,28	0,5999
L*P	1	0,0011	0,0011	1,03	0,3198
A*P	1	0,0016	0,0016	1,45	0,238
L*A*P	1	0,0001	0,0001	0,06	0,8112

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 14

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ABSORCIÓN A LAS 24 HORAS DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
Modelo	11	941,8069	85,6188	10,34	<0,0001
Error	28	231,8647	8,2809		
Total corregida	39	1173,6716			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,928191	24,6887	2,8777	11,6558		
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
L	1	30,6425	30,6425	3,7	0,0646
A	1	75,5425	75,5425	9,12	0,0053
P	1	724,9671	724,9671	87,55	<0,0001
L*A	1	5,0481	5,0481	0,61	0,4415
L*P	1	40,8646	40,8646	4,93	0,0346
A*P	1	33,6906	33,6906	4,07	0,0534
L*A*P	1	0,0648	0,0648	0,01	0,9301

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 15

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL HINCHAMIENTO A LAS 24 HORAS DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
Modelo	11	15,8679	1,4425	7,27	<0,0001
Error	28	5,5529	0,1983		
Total corregida	39	21,4208			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,928191	26,1535	0,4453	1,7028		
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
L	1	5,8599	5,8599	29,55	<0,0001
A	1	3,4751	3,4751	17,52	0,0003
P	1	3,1304	3,1304	15,78	0,0005
L*A	1	1,8619	1,8619	9,39	0,0048
L*P	1	0,0024	0,0024	0,01	0,9131
A*P	1	0,008	0,008	0,02	0,8909
L*A*P	1	0,3901	0,3901	1,97	0,1718

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 16

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA MÁXIMA EN TENSIÓN DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Razón F	Valor p
Modelo	11	131,9415	11,99	6,46	<0,0001
Error	28	51,9518	1,85		
Total corregida	39	183,8933			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,928191	9,6083	1,3621	14,168		
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Razón F	Valor p
L	1	39,0655	39,0655	21,05	<0,0001
A	1	12,69	12,69	6,84	0,0142
P	1	1,5721	1,5721	0,85	0,3652
L*A	1	3,0969	3,0969	1,67	0,2069
L*P	1	5,0908	5,0908	2,74	0,1088
A*P	1	3,8876	3,8876	2,1	0,1589
L*A*P	1	35,5888	35,5888	19,18	0,0002

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 17

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN TENSIÓN DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Razón F	Valor p
Modelo	11	2,3029	0,2094	2,03	0,0634
Error	28	2,8812	0,1029		
Total corregida	39	5,1841			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,4442	23,0039	0,3208	1,3945		
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Razón F	Valor p
L	1	0,2503	0,2503	2,43	0,1301
A	1	0,026	0,026	0,25	0,6191
P	1	0,8003	0,8003	7,78	0,0094
L*A	1	0,7491	0,7491	7,28	0,0117
L*P	1	0,0081	0,0081	0,08	0,7816
A*P	1	0,00001	0,00001	0	0,9922
L*A*P	1	0,2381	0,2381	2,31	0,1394

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 18

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RESISTENCIA MÁXIMA A LA FLEXIÓN DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
Modelo	13	256,9011	19,7616	4,01	0,0003
Error	42	206,8003	4,9238		
Total corregida	55	463,7015			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,554023	9,3835	2,2189	23,6475		
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Anova SS</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
L	1	109,48018	109,48018	22,23	<0,0001
A	1	0,8306	0,8306	0,17	0,6834
P	1	21,825	21,825	4,43	0,0413
L*A	1	4,2681	4,2681	0,87	0,3572
L*P	1	2,1607	2,1607	0,44	0,5113
A*P	1	0	0	0	1
L*A*P	1	93,3961	93,3961	18,97	<0,0001

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 19

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
Modelo	13	6,0788	0,5368	3,51	0,001
Error	42	6,4172	0,1528		
Total corregida	55	13,396			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,5209	23,7619	0,3909	1,645		
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Anova SS</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
L	1	3,2256	3,2256	21,11	<0,0001
A	1	0,2829	0,2829	1,85	0,1809
P	1	1,16	1,16	7,59	0,0086
L*A	1	0,0132	0,0132	0,09	0,702
L*P	1	0,0592	0,0592	0,39	0,5372
A*P	1	0,0293	0,0293	0,19	0,6639
L*A*P	1	1,2963	1,2963	8,48	0,0057

FUENTE: Elaboración propia.

ANEXO 20

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL IMPACTO DESPUÉS DEL INTEMPERISMO

<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
Modelo	14	0,2828	0,0202	4,69	0,0002
Error	31	0,1335	0,0043		
Total corregida	45	0,4163			
R cuadrado	C.V.	RMSE	Promedio		
0,6793	14,0013	0,0656	0,4687		
<i>Fuente</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Anova SS</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón F</i>	<i>Valor p</i>
L	1	0	0	0,01	0,9391
A	1	0,0141	0,0141	3,29	0,0796
P	1	0,0004	0,0004	0,1	0,7586
L*A	1	0,0007	0,0007	0,16	0,6929
L*P	1	0,002	0,002	0,47	0,4959
A*P	1	0,0018	0,0018	0,41	0,5271
L*A*P	1	0,0173	0,0173	4,02	0,0537

FUENTE: Elaboración propia.