

Comparación de guadua *angustifolia kunth* expuesta a agentes atmosféricos, protegida y sin protección, mediante inspección visual y microscopía

Comparison of guadua *angustifolia kunth* exposed to atmospheric agents, protected and unprotected, by visual inspection and microscopy

[Tecnología]

Liliana Rocío Patiño León*

Universidad La Gran Colombia, Colombia

✉ liliana.patino@ugc.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0003-1859-5172>

Manuel Fernando Martínez Forero**

Universidad La Gran Colombia, Colombia


✉ manuel.martinez@ugc.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0002-7579-4541>

Walter Mauricio Barreto***

Universidad Santo Tomás, Colombia

✉ walterbarreto@ustadistancia.edu.co

 <https://orcid.org/0000-0001-6150-7153>

Recibido: 6 de julio del 2021

Aceptado: 3 de septiembre del 2021

Citar como:

Patiño León, L. R. Martínez Forero, M. F. y Barreto, W. M. (2021). Comparación de guadua *angustifolia kunth* expuesta a agentes atmosféricos, protegida y sin protección, mediante inspección visual y microscopía. *CITAS*, 7(1). <https://doi.org/10.15332/24224529.6740>



* Arquitecta y magíster en Construcción de la Universidad Nacional de Colombia. Docente investigadora en la Universidad La Gran Colombia.

** Arquitecto y magíster en Construcción de la Universidad Nacional de Colombia. Docente Investigador en la Universidad La Gran Colombia.

*** Arquitecto y magíster en Construcción en Madera de la Universidad de Bio Bio, Chile. Docente investigador en la Universidad Santo Tomás.

CITAS

e-ISSN: 2422-4529 |  <https://doi.org/10.15332/24224529>

Vol. 8 N.º 1 | enero-junio de 2022

Resumen

En este estudio experimental, se analiza el deterioro de la guadua frente a la exposición directa a agentes atmosféricos, (radiación solar, lluvia, viento y cambios de temperatura ambiente) para evaluar el comportamiento de tratamientos de protección, mediante un análisis comparativo de elementos expuestos protegidos y sin protección en idénticas condiciones. Se desarrolló una estructura en *guadua angustifolia kunth* en la cual se incluyeron diferentes ángulos en los elementos y sobre algunos de estos se aplicó una película protectora de lasur con varias preparaciones previas de la superficie.

Se expuso el ensayo a la intemperie durante 11 meses, durante los cuales se realizó seguimiento al deterioro de la estructura mediante la inspección visual y documentación fotográfica en forma periódica. Posteriormente, se tomaron muestras de los elementos expuestos para ser analizados bajo microscopio de barrido electrónico.

Se pudo identificar como lesión primaria la foto-degradación, evidente en los elementos con y sin protección, presentando más impacto en los elementos horizontales, que reciben mayor radiación solar. Derivadas de la foto-degradación, se encontraron otras lesiones secundarias, como la presencia de fisuras y grietas, las cuales comprometen la superficie del material y permiten la aparición de agentes bióticos en las guaduas.

Las superficies no expuestas directamente a la radiación solar no presentaron afectaciones significativas, por lo que se concluyó que el principal aspecto frente al que se debe proteger la guadua es la radiación solar directa y que los procedimientos de protección aplicados no ofrecen un buen desempeño real frente a las condiciones del ensayo, planteando la necesidad de buscar alternativas eficientes frente a esta condición.

Palabras clave: bambú, guadua, foto-degradación, microscopio electrónico de barrido (SEM), deterioro.

Abstract

This experimental study analyzes the deterioration of guadua when in direct exposure to atmospheric agents (solar radiation, rain, wind, and changes in ambient temperature) to evaluate the behavior of protection treatments, through a comparative analysis of protected and unprotected elements exposed under identical conditions. A structure was developed in *guadua angustifolia kunth* in which different angles were included in the elements and on some of these a protective film of lasur was applied with several previous preparations on the surface.

The test was exposed to the elements for 11 months, during which the deterioration of the structure was monitored by visual inspection and photographic documentation on a periodic basis. Subsequently, samples of the exposed elements were analyzed by scanning electron microscopy.

Photodegradation was identified as a primary lesion, evident in the elements with and without protection, with greater impact on the horizontal elements, which receive more solar radiation. Derived from photodegradation, other secondary lesions were found such

as the presence of fissures and cracks, which compromise the surface of the material and allow the appearance of biotic agents in the guadua.

Surfaces not directly exposed to solar radiation did not show significant effects, so it was concluded that the main aspect against which the guadua should be protected is direct solar radiation and that the protection procedures applied do not offer actual good performance against the test conditions, suggesting the need to seek efficient alternatives for this condition.

Keywords: Bamboo, guadua, photodegradation, scanning electron microscope (SEM), deterioration.

Introducción

En la actualidad la construcción con bambú ha tomado relevancia gracias a las ventajas identificadas en el material en cuanto a propiedades físicas, mecánicas y eficiencia energética. Este material tiene alta resistencia a compresión paralela y tracción, en cuanto a eficiencia energética, (Zea et al., 2018) afirman que su cultivo y la explotación favorece a los países productores a lograr los objetivos de desarrollo sostenible, por ejemplo, en vivienda, además contribuye a los esfuerzos mundiales para la reducción de CO₂ y la mitigación del cambio climático. Este material se destaca por ser un material sostenible de rápido crecimiento, que en sistemas constructivos como el bahareque hace que éste tenga un mejor desempeño ambiental que las construcciones de albañilería (Kaminski et al., 2016b). Estas ventajas hacen que su estudio sea relevante y encontrar formas que promuevan su utilización y adecuada implementación en las diferentes construcciones.

En ese sentido, cabe destacar la importancia del análisis de factores como la durabilidad y el comportamiento del material frente a la acción de agentes atmosféricos, donde estudios previos han detectado afectación del material por agentes bióticos (Moran, s. f.) y baja durabilidad (Jassen J. 2000) incluso menor que la de la madera. Se estima que el bambú expuesto a la intemperie tiene una durabilidad de entre 1 y 2 años (Hidalgo, 2003). Tiempo en el que se evidencian procesos patológicos como fotodegradación (Broto, 2006), la cual se genera desde los primeros meses de exposición, y a partir de ésta otros procesos de deterioro como fisuras, humedad y agentes bióticos, que afectan la resistencia del material. Lo anterior hace necesario que se analice el deterioro del material frente a la acción de agentes externos, y cómo actúan los tratamientos que actualmente se utilizan para su mantenimiento y protección, en el caso de esta investigación se analizó el bambú sin protección y con protección a base de lasures. Los cuales conforman una película impermeable sobre la superficie del material. Se buscó evaluar su eficiencia y las alteraciones que se presentan en el tiempo.

Deterioro del bambú por acción de agentes atmosféricos

El bambú como material de construcción presenta algunos inconvenientes frente a la exposición directa a la acción de agentes atmosféricos, que disminuyen la durabilidad y lo hacen susceptible al ataque de agentes bióticos (Morán, s. f.). Por sus propias características orgánicas, el bambú tiende

a ser afectado por microorganismos, bacterias, insectos xilófagos, hongos y otros factores que limitan su tiempo de duración.

Según Janssen (2000), desafortunadamente la durabilidad del bambú es baja, en comparación con la mayoría de las maderas, para las cuales se han desarrollado productos químicos que previenen su deterioro, mientras que el bambú no cuenta con productos específicos para su protección frente a la acción de la intemperie. Factores como la humedad hacen que el bambú sea más propenso a la aparición de pudrición (Kaminski et al., 2016b, p. 26). La causa de la putrefacción es un hongo que requiere que el bambú presente un porcentaje de humedad de al menos un 20 %, lo que puede darse al estar expuesto a la lluvia o a la humedad del suelo. En la mayoría de los países tropicales (Janssen, 2000), el alto porcentaje de humedad relativa en el aire se suma a los problemas de durabilidad, dificultando las condiciones de secado y, por tanto, haciendo susceptible el material al ataque de hongos.

Respecto a la durabilidad del material en relación con el tiempo y nivel de exposición, Hidalgo (2003, p. 142) afirma que el bambú bajo condiciones ordinarias tiene una expectativa de vida de máximo dos años cuando se utiliza expuesto a la atmósfera y en contacto con el suelo, mientras que su vida útil puede proyectarse de tres a 5 años cuando está bajo cubierta y sin contacto con el suelo. Por su parte, Kaminski et al. (2016b, p. 29) indica que el bambú en contacto con el suelo y ubicado en el exterior presenta una durabilidad de menos de 0.5 años si no está tratado, de más de 1 año, si está tratado con boro; si está externo por encima del suelo, entre 0.5 y 4 años, si no está tratado, y de 2 a 15 años tratado con boro; si está interno, de 2 a 6 años si no está tratado y más de 30 si está tratado con boro. También, Janssen (2000) muestra una línea de tiempo aproximada sobre la durabilidad del bambú no tratado, el cual en contacto con el ambiente y el suelo tiene una duración de 1 a 3 años; bajo cubierta y libre de contacto con el suelo de 4 a 6 años, con una buena cubierta y condiciones de uso de 10 a 15 años.

En ese sentido, cabe destacar la importancia de la protección por diseño, los tratamientos de preservado y la vulnerabilidad del material al estar a la intemperie frente a la acción de agentes atmosféricos, condiciones que interfieren en la durabilidad, siendo ésta muy baja en condiciones de material no tratado y exposición, mientras que el material bajo buenas condiciones de protección tiene una larga vida útil.

También, se considera fundamental evaluar cómo actúan los tratamientos utilizados actualmente para el mantenimiento del bambú expuesto y su grado de efectividad frente a la acción de los agentes atmosféricos, así como los procesos patológicos que se presentan en condiciones de exposición, con el fin de contribuir a la optimización de los tratamientos de mantenimiento y durabilidad del material.

En relación a lo anterior, investigaciones anteriores, como la de Barreto y Gutiérrez (2018), identificaron el proceso patológico que se desencadena en la guadua al estar expuesta frente a la acción de agentes atmosféricos, siendo la lesión primaria la foto degradación, la cual genera cambio de color en la superficie o agrisamiento, seguido de la aparición de fisuras, que facilitan el ingreso de la humedad, con esta pudrición y agentes bióticos al interior del material, facilitando su deterioro. En el estudio de Barreto et al. (2018) se identificó la foto-degradación como lesión relevante del

proceso de deterioro a partir del análisis de edificaciones en guadua, las cuales se tomaron como estudios de caso, y se propone la metodología de estudio atendiendo a la hipótesis que las variables atmosféricas que atacan la guadua no se pueden reproducir en laboratorio.

Deterioro de la epidermis de la guadua por foto-degradación

Uno de los deterioros que presentan las superficies de los materiales más comúnmente es la afectación por la luz o foto-degradación, que se genera por oxidación fotoquímica. Según Broto (2006), se debe principalmente a la acción de agentes como la lluvia, el hielo, los cambios higrotérmicos y la acción de los rayos UV del sol, siendo éstos últimos los principales causantes. Dicho deterioro se desarrolla mediante fases por las que pasa el material en este proceso de deterioro, inicia tomando un color amarillento y luego un agrisamiento por la aparición de mohos que se alimentan de la lignina degradada; generando, además, (Wang y Ren, 2008b) daño en las fibras de las paredes, lo que evidencia grietas importantes dentro de la pared de las células de la fibra y muestra una tendencia a que las laminillas de la fibra se separen entre sí.

Adicionalmente, Broto (2006, p. 221) explica la foto-degradación como un proceso que se genera a causa de la rotura de las cadenas moleculares por acción de los rayos UV (fotólisis) con ayuda del oxígeno; haciendo que aumente la higroscopicidad de la madera y generando un desfibrado como resultado de la pérdida de ligazón que proporciona la lignina, por tanto, aparece el desfibrado superficial. La afectación de la lignina es un factor muy relevante en los procesos de deterioro, como lo evidencia Yu et al. (2018) al someter piezas de guadua a exposición de rayos UV, en la que se identifica afectación del color y disminución del contenido de lignina, consecuencia de una serie de reacciones fotoquímicas en la superficie del material. Según estos autores, estas reacciones fotoquímicas se presentan de manera muy rápida al comienzo del periodo de exposición, desacelerando después de una semana. También, en materiales como la madera, la detección y el daño producido, según Rodríguez (1998, p. 56), se presentan de la siguiente forma: “Inicialmente una decoloración superficial grisácea y con posterioridad una desfibración superficial que con la colaboración del agua de lluvia y del viento puede llegar a ocasionar desigualdades superficiales de cierta importancia, produciendo la denominada meteorización en el material.”

Esta afectación superficial en la guadua ha sido evidenciada en estudios de caso previos Yu, et al. (2018), en un estudio realizado para evaluar los efectos de los tratamientos térmicos sobre las propiedades del bambú, documentan los cambios en la fase inicial de exposición de las muestras, identificando en la primera semana de exposición se identifican cambios de color, especialmente, en los tres primeros días, y estabilizándose en los 14 días siguientes. Se evidencia una reducción en el contenido de lignina en la superficie. Este estudio también evidencia que el tratamiento de protección puede retrasar, pero no prevenir la foto-degradación en el bambú.

Por su parte, Wang y Ren (2008a) realizaron una investigación donde evaluaron el comportamiento del bambú y la madera frente a la foto-decoloración o resultado de la irradiación de luz UV-vis; llegando a la conclusión de que el bambú fue susceptible a la degradación y mostrando tempranos cambios de color durante los periodos de exposición, siendo menos afectado que la madera.

También, se identificaron cambios químicos en la estructura de la superficie del bambú, donde la lignina es el componente más sensible a la foto-degradación.

Tal como lo evidencian estas investigaciones el comportamiento del bambú frente a la acción de los agentes atmosféricos, principalmente la radiación solar, es un factor de deterioro importante que incide notablemente en la durabilidad del material, afectando su aspecto físico inicial y posteriormente su microestructura.

Antecedentes del uso del microscopio electrónico de barrido en el estudio de la guadua

El estudio y caracterización de la guadua mediante el uso del microscopio electrónico de barrido permite evaluar los efectos de las superficies frente a la radiación solar y agentes atmosféricos. Se utilizó un microscopio electrónico de 100X que permite documentar los cambios anatómicos de la superficie del material, dando más precisión en las imágenes y registro de los cambios en su estructura. Como lo expresa Rivera et al. (1994): “El microscopio electrónico de barrido SEM (*scanning electron microscope*) da la posibilidad de hacer un análisis de las estructuras en materiales carbonizados [...] y posibilita operar con una amplia gama de aumentos, desde 12X a 140.000X”. Permitiendo analizar los materiales desde diferentes aumentos de acuerdo con su estructura microscópica y las necesidades propias del estudio.

En ese sentido, estudios previos que analizan la estructura microscópica de la guadua con el uso de técnicas avanzadas, se toman como punto de partida o precedente para la metodología del análisis de resultados y conocimiento del material.

Inicialmente, un estudio realizado por Londoño y Cheyne (2005) demostró que la superficie desde su anatomía microscópica está compuesta por la epidermis y la hipodermis; la primera está compuesta por células largas desde los entrenudos, con células cortas agrupadas entre las largas y con una alta concentración de sílice, contribuyendo a la dureza. La hipodermis por su parte tiene dos capas de “esclerénquima” o tejido de sostén, y luego ocho o diez capas de tejido parénquima entre haces vasculares. Posteriormente, producto de la investigación con técnicas de anatomía microscópica, Osorio et al. (2007) definieron que la guadua se encuentra conformada por

[...] células de parénquima y haces vasculares, los cuales a su vez se componen de vasos conductores, de fibras y parénquima. La unión entre fibras y el parénquima se da por la presencia de celulosas y hemicelulosas que son carbohidratos de alto peso molecular, además de la lignina, que es un complejo polimérico presente en el material.

Archila (2015) registró, en una vista de sección de los especímenes en guadua, una representación en la que evidenció la variación de la densidad y composición del material. También, analizó la superficie exterior del material, la cual está compuesta de celulosa cutinizada y una capa de pectina (juntas proveen protección al tejido y una barrera para el agua e insectos). Las células de corcho contienen sílice, así como las estomas, que se encuentran en este tejido epidérmico debajo de la capa cutinizada.

Por su parte, Herrera et al. (2009) desarrollaron una investigación para cuantificar el sílice de las hojas de la guadua angustifolia y precisar la ubicación de este dentro de la misma, a través de las imágenes tomadas en el SEM, se determinó que células de sílice tienen forma de silla de montar, con unas longitudes establecidas, y se distribuyen regularmente en la epidermis de la hoja en filas sobre el nervio central, haciendo parte de la estructura de la hoja.

Estudios como el de Espitia et al. (2018) analizan las fibras de guadua para identificar cada una de las propiedades que pueden ser utilizadas para el reforzamiento de matrices poliméricas. Una de las técnicas utilizadas fue el SEM. Con el ensayo, se logró identificar el diámetro de las fibras y, en la sección, se presentó un plano con un porcentaje de huecos del 0.61 %, debido al número de agujeros en las fibras, evidenciando la baja densidad de la guadua respecto de otras fibras. También, se logró observar la superficie rugosa de las fibras de guadua y “determinar” que este es un material compuesto por sus largas fibras de celulosa, que se alinean en una dirección axial inmersas en material leñoso, haciéndola resistente a cargas longitudinales.

Finalmente, Xu et al. (2013) utilizaron el microscopio electrónico de barrido para comparar los deterioros presentados en superficies no afectadas y afectadas por hongos, las cuales fueron expuestas a deterioro artificial acelerado por 12 semanas. El análisis se realizó antes y después de la exposición, evidenciando cambios microestructurales ocurridos debido a la descomposición acelerada. Se identificaron cambios en las células de la estructura del parénquima después de haber sido expuestas. Se observaron hifas de *P. chrysosporium* y *G. trabeum* en las células del parénquima y las paredes celulares del parénquima del bambú se desintegraron después de la exposición a *G. trabeum*.

Estos antecedentes permiten mostrar la utilidad del uso de SEM para la caracterización del material y el análisis a nivel microscópico de cada una de sus partes, así como las alteraciones que pueden llegar a presentarse por diferentes factores. Para el caso del análisis de los deterioros en la superficie del material y el registro detallado de las alteraciones en la epidermis, resulta oportuno el uso de este instrumento, ya que permite registrar alteraciones a nivel microscópico y comparar las superficies afectadas versus las no afectadas.

Metodología

Para analizar detalladamente la incidencia del sol en la superficie de la guadua, se realizó un experimento que permitiera hacer un seguimiento mediante la inspección visual y análisis microscópico de los deterioros presentados. Para lograr esto, se diseñó una estructura de dos cerchas paralelas en guadua (figura 1). Se aplicaron varios tratamientos de protección en algunos de sus elementos de una de las cerchas y la otra se dejó sin ninguna clase de tratamiento previo frente a la radiación solar.

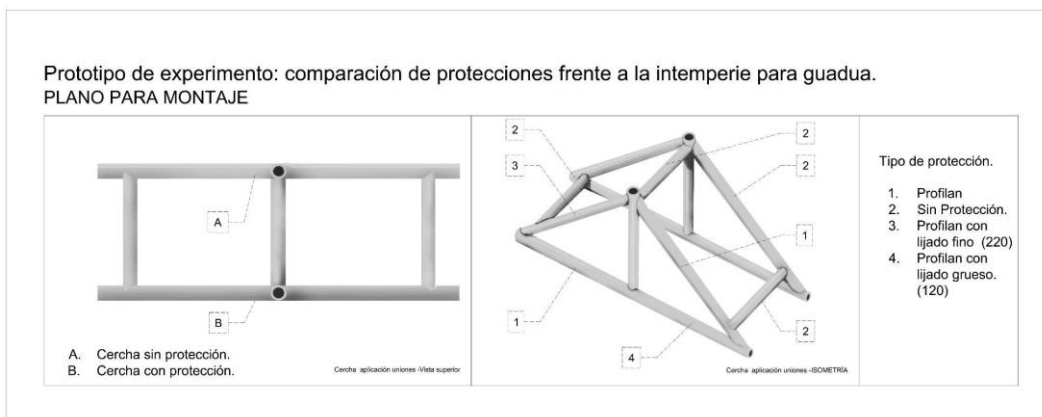


Figura 1. Esquema de montaje del prototipo.

Fuente: elaboración propia.

Se analizaron dos variables principalmente: el grado de inclinación de los elementos en relación con la afectación y la comparación entre elementos expuestos protegidos expuestos no protegidos y elementos no expuestos.

El tratamiento de protección se realizó con un producto para madera lasur a base de solvente (Profilan Colorplus®). Los grados de inclinación identificados fueron 0°, 90° y 45° respecto a la horizontal.

Para el tratamiento de la superficie con el lasur, primero lijado y segundo sin lijar. Se realizó un seguimiento de los deterioros con el fin de comparar elementos tratados contrastados con los no tratados, los deterioros y su relación con los tratamientos, mediante inspección visual, seguimiento fotográfico y toma de muestras para análisis con la técnica de observación en microscopio de barrido electrónico de 100X.

El prototipo se localizó en Chía, Cundinamarca, a las afueras de la ciudad de Bogotá, se ubicó a una altura de 2557 msnm. De acuerdo con el portal Weather Spark (2021), el lugar presenta temperaturas que oscilan generalmente entre los 7 °C y los 19 °C, con algunas variaciones inusuales que pueden llegar a los 3 °C y los 21 °C. Las lluvias se concentran en 9 meses al año de marzo a noviembre, presentando picos altos en abril (207 mm) y octubre (187 mm), mientras que entre diciembre y febrero se da una temporada seca (en enero, 44 mm).



Figura 2. Localización del experimento.

Fuente: elaboración propia.

Para el ensayo, se utilizó guadua *angustifolia* Kunth de 12 cm de diámetro, traída de la región cafetera. Se realizó el montaje de la cercha dejándola expuesta durante 11 meses, tiempo en el cual se realizó el seguimiento fotográfico para el análisis de inspección visual y documentación de deterioros representativos. En la figura 3 se muestra el proceso de montaje de la cercha.



Figura 3. Proceso de montaje de la cercha. a) Montaje del experimento b) aplicación del lasur con brocha con y sin lijar la superficie.

Fuente: elaboración propia.

Análisis inspección visual

En la etapa inicial de exposición, el material presentó ligeros cambios de color en la superficie, de amarillo a grisáceo principalmente en las zonas de mayor exposición directa a los rayos UV. También, se identificó ensuciamiento y microfisuración leve; como lo muestran las siguientes imágenes ordenadas cronológicamente, se evidencia el incremento del deterioro en el tiempo. En la figura 3 se muestra cronológicamente el seguimiento hecho.



Figura 4. a) Afectación en elemento diagonal; b) lesión luego de exposición.

Fuente: elaboración propia. Fecha de captura: 16 de marzo de 2019.

Las guaduas presentan oscurecimiento de la superficie, manchas o ensuciamiento, pequeñas fisuras longitudinales en la superficie, tanto en la superficie con película protectora de lasur a base de solvente (Profilan Colorplus[®]) como en la superficie sin ningún tratamiento. Este deterioro es más evidente en las superficies inclinadas y horizontales de la parte expuesta directamente a los rayos UV.

En la figura 7 se muestra el experimento el 11 de julio de 2019 desde diferentes perspectivas.

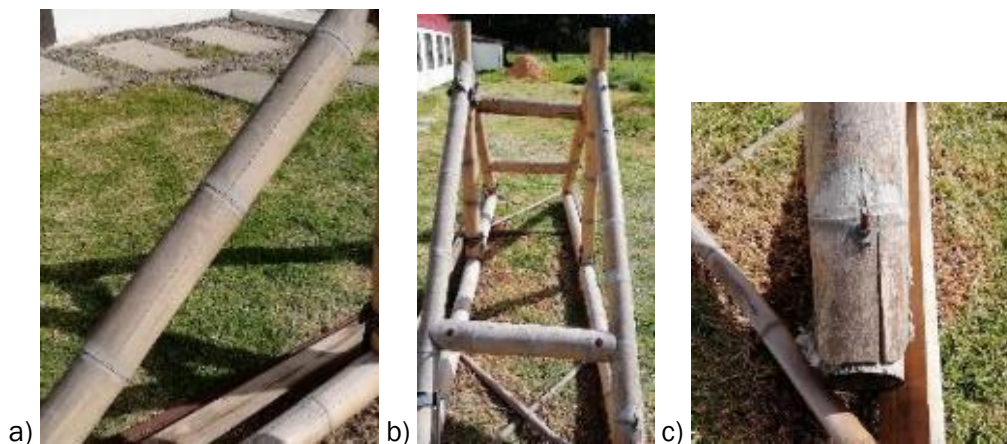


Figura 7. a) lesión temprana de fotodegradación; b) evolución de las lesiones; c) lesiones en la unión.

Fuente: elaboración propia.

El ensuciamiento se incrementó, así como las fisuras longitudinales, se identifica pérdida de la capa superficial del material tomado un color opaco. También se evidencia oxidación de los tornillos. También se evidencia oxidación de los tornillos. En la figura 8 se muestra el experimento con fecha 24 de julio de 2019.

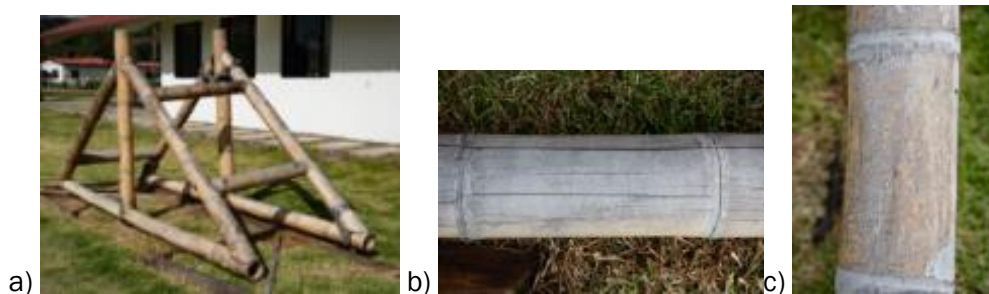


Figura 8. a) aspecto general de la decoloración; b) aparición de fisuras y grietas en elementos horizontales; c) relación entre el protector y la lesión.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 10 se muestra la aparición de hongos manchadores fijados a la microfisuración y la diferencia de lejos de la afectación en elementos según la diferencia de ángulo con fecha 1 de agosto del 2019.



Figura 10. a) Deterioro en toda la estructura; b) mancha y deterioro causado por hongo.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 11 se identifica aparición de algunos organismos biológicos tales como hongos de tipo cromógeno como mohos manchadores en las superficies más afectadas por ensuciamiento, y pérdida de la capa superficial del material con fecha 15 octubre de 2019.

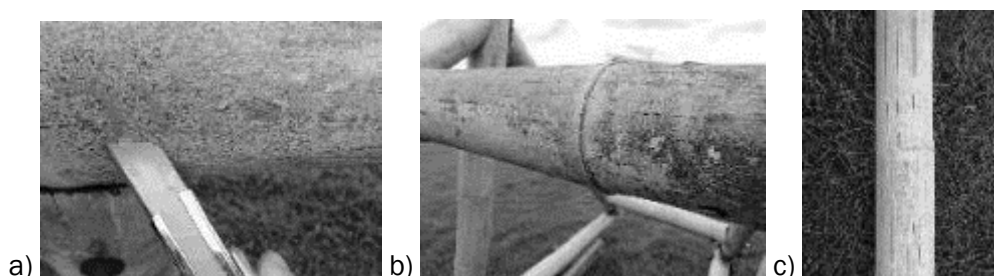


Figura 11. a) elemento horizontal; b) presencia de organismos; c) vista del elemento inferior en posición horizontal.

Fuente: elaboración propia.

La capa de lasur se afectó considerablemente, presentando descascaramiento y el material se mostró afectado en la superficie, con fisuras y cambios de color. En las superficies horizontales, se pudo identificar presencia de musgo en los entrenudos de la guadua.

En el análisis de inspección visual, se lograron identificar deterioros asociados a la foto-degradación, que se caracteriza por el cambio de color en la superficie y posteriormente la aparición de fisuras. Lo anterior debido a la disminución del contenido de lignina que se presenta después de la irradiación UV (Yu, et al., 2018). Según estos autores, este cambio de color se da principalmente en las primeras etapas de periodo de exposición del material, durante los 0 a los 28 días, como se evidenció en el prototipo expuesto.

Luego de la foto-degradación, se encontraron fisuras y grietas, las fisuras se presentaron en los puntos de perforación utilizados para la inmunización de la guadua y en las superficies con mayor exposición a la radiación solar; mediante las grietas se da el ingreso de humedad al interior de los canutos, favoreciendo la aparición de microorganismos.

En la figura 12 se muestra el prototipo con las lesiones mencionadas, con fecha 15 de octubre del 2019

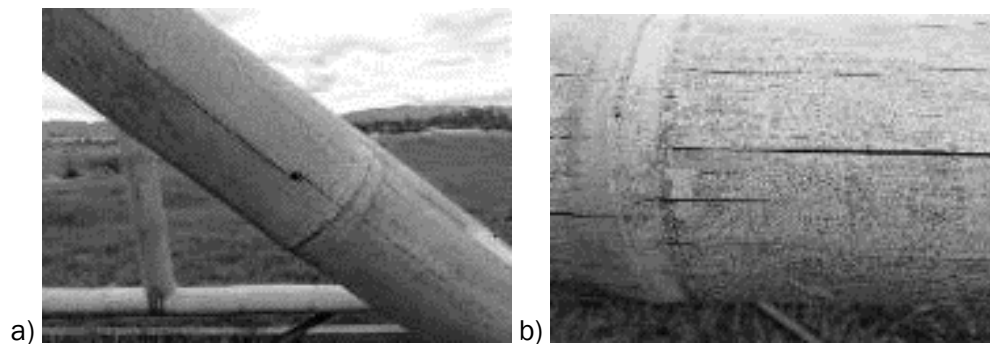


Figura 12. a) Grieta provocada por la perforación fisura en el elemento horizontal; b) fisuras superficiales de más de 0,5 mm.

Fuente: elaboración propia.

En las figuras 13 y 14 se muestra el prototipo en el momento de hacer la microscopía. Con fecha 15 de octubre del 2019. En el detalle se ve que la zona con sombra no tiene decoloración ni suciedad.

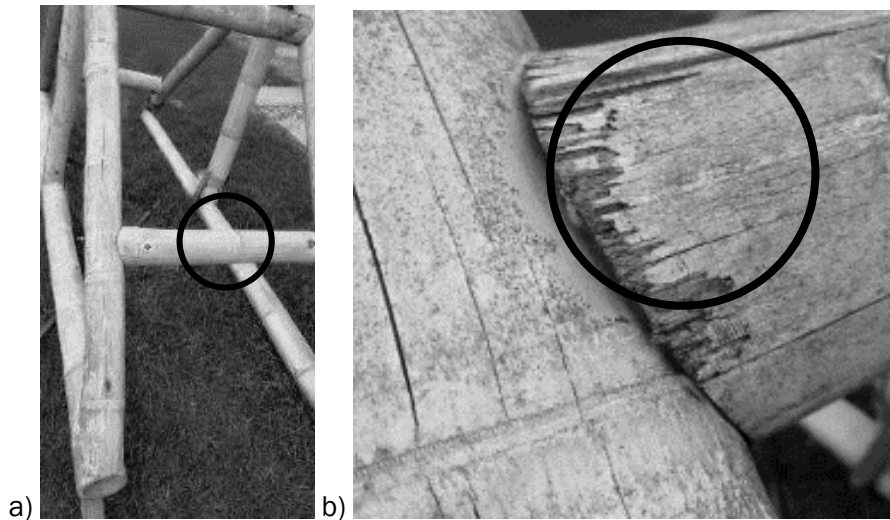


Figura 13. a) Agrisamiento del prototipo a 15 de octubre de 2019; b) detalle de unión y lesión.
Fuente: elaboración propia.

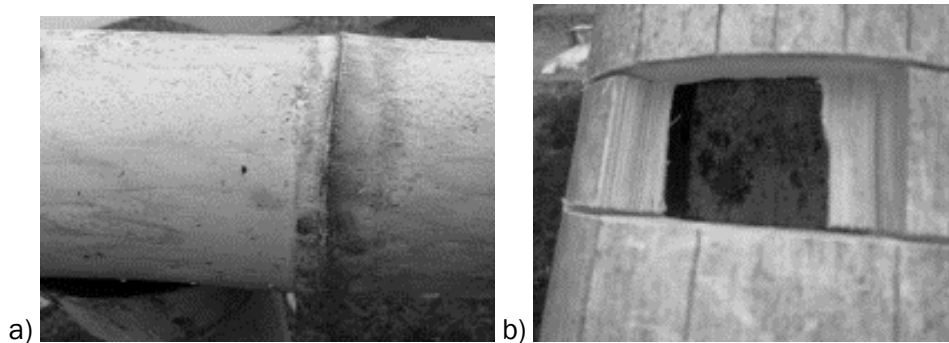


Figura 14. a) Estado del elemento horizontal sin lesiones en la superficie inferior no expuesta;
b) corte para extraer la muestra que se va a registrar microscópicamente.
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones de la inspección visual

En el análisis de los deterioros se logró identificar como lesión principal la foto-degradación, tanto en las zonas protegidas con lasur, como en las no protegidas, esto mismo sucedió con las lesiones secundarias como fisuración, presencia de musgo y microorganismos.

Las superficies más afectadas fueron las dispuestas diagonal y horizontalmente, a diferencia de las dispuestas verticalmente, las cuales presentaron deterioros leves, así como las superficies ubicadas en la parte inferior de cada elemento, no expuesta a la radiación solar, las cuales tuvieron deterioros leves en cuanto a ensuciamiento, fisuración y cambio de coloración.

El proceso patológico es identificado como foto-degradación, fisuras, humedad y microorganismos, evidenciando la susceptibilidad del material frente a la exposición de agentes atmosféricos y cómo en un periodo de tiempo de 11 meses, éste puede presentar deterioros representativos, independientemente de si está protegido con lasur o no.

Análisis de deterioros mediante el uso del microscopio electrónico de barrido

Para la evaluación de las piezas, se utilizó un microscopio electrónico, como muestra la figura 4, marca Phemon X, se tomaron las fotografías a 450x y 15000 Kv a una escala de 100 μm . Con esta técnica se puede obtener mayor resolución y profundidad de campo respecto a los microscopios ópticos y se emplea un instrumento de precisión para analizar estructuras; cuantitativa o cualitativamente, de materiales micro estructurados. Las imágenes obtenidas en SEM se generan mediante un haz de electrones focalizados que realizan un barrido sobre la superficie de una muestra.

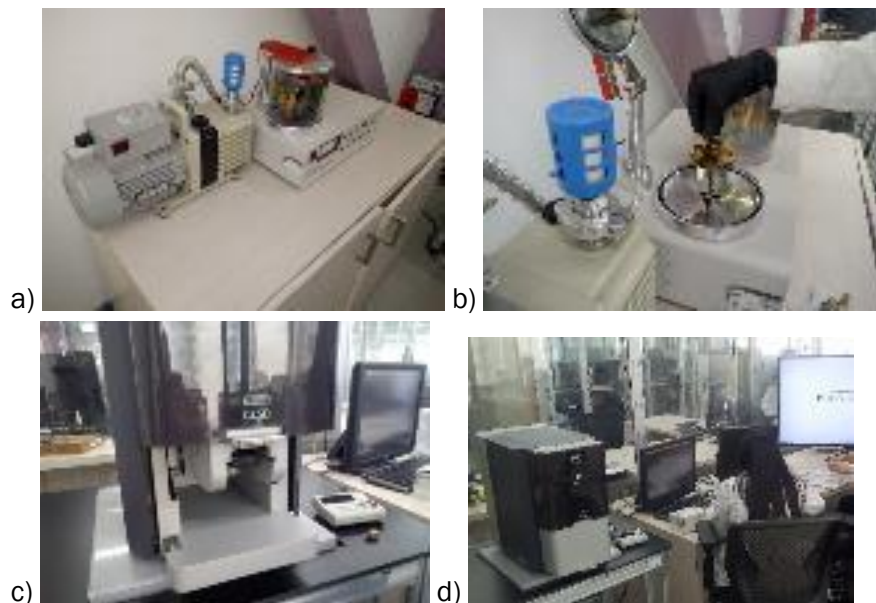


Figura 4. Microscopio electrónico de barrido; a) sistema de vacío; b) la cámara portamuestras; c) columna de electrones; d) sistema de adquisición y procesamiento de imágenes.

Fuente: elaboración propia.

Las piezas para el análisis fueron cortadas en partes de un tamaño no mayor a 1 cm^2 , evitando afectar la superficie de análisis. Posteriormente, se les realizó un recubrimiento mediante la pulverización catódica (*sputtering*) de la superficie con partículas de oro. Este proceso se realiza en materiales no conductores, en este caso la guadua, esto para que los electrones del microscopio electrónico de barrido puedan identificar los electrones de la superficie recubierta y mediante su interacción generar las imágenes.

Las muestras analizadas fueron tomadas de distintos puntos de la cercha expuesta a la acción de agentes atmosféricos, se tomaron muestras de material no expuesto y expuesto, con y sin protección. Con estas se realizó un análisis comparativo entre el material expuesto y el no expuesto, así como, de las piezas protegidas y las no protegidas con película de lasur, para determinar el grado de afectación en la superficie de cada una y entre estas.

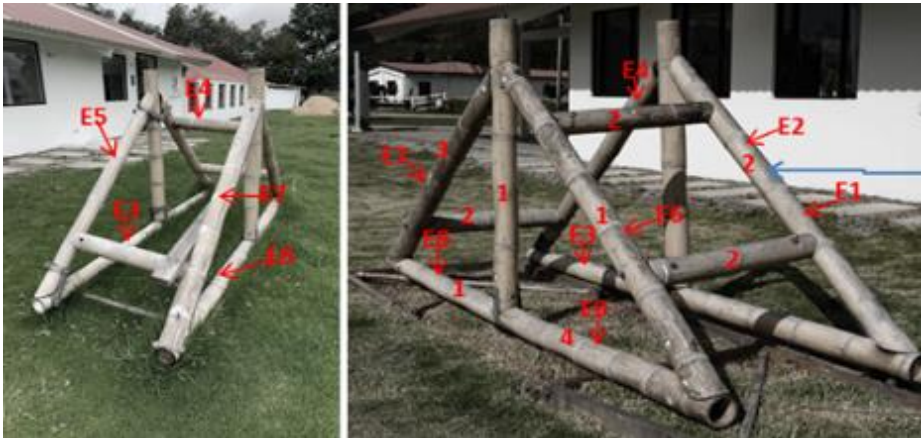


Figura 5. Nomenclatura de los tratamientos de superficie en el ensayo.

Fuente: elaboración propia.

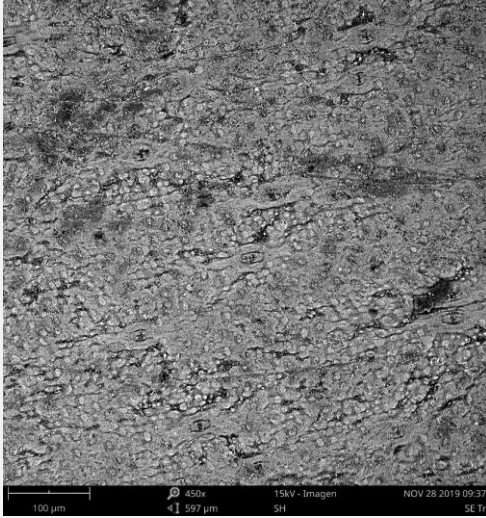
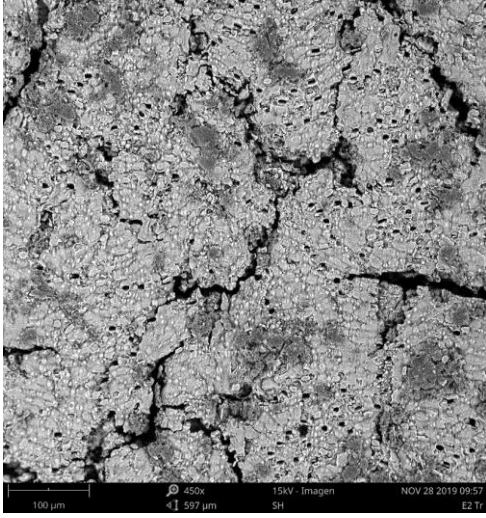

Para el análisis las muestras fueron denominadas de la siguiente manera:

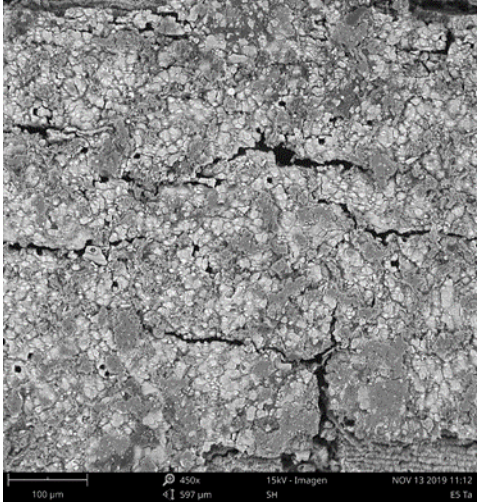
- SE - muestra sin exposición
- E1 - muestra sin tratamiento de protección.
- E2 - muestra sin tratamiento de protección.
- E3 - muestra sin tratamiento de protección.
- E4 - muestra sin tratamiento de protección.
- E5 - muestra sin tratamiento de protección.
- E6 - muestra con tratamiento de protección - profilan
- E7 - muestra con tratamiento de protección - profilan + lijado previo con lija 220 fina.
- E8 - mitad sin profilan.
- E9 - muestra con tratamiento de protección - profilan + lijado previo con lija 120 gruesa.

Análisis comparativo de las muestras en el microscopio

Al analizar las muestras a nivel microscópico se pudo identificar que en la muestra no expuesta se conserva una superficie homogénea y una distribución regular de las partículas que conforman la epidermis del material, cabe aclarar que esta muestra también mantuvo el color amarillo característico del material. Comparativamente, las muestras expuestas sin película de protección, como se puede ver en la tabla 1 (muestras E 2,3 y 5), evidencian deterioro en la superficie, mostrando pérdida de la capa superficial de la epidermis y fisuras con diferentes dimensiones. Como es el caso de la muestra E3, la cual presenta fisuras longitudinales de tamaño considerable.

Tabla 1 Muestra sin exposición vs muestra expuesta sin protección

Codificación según la figura 5	Imagen de microscopía con zoom de 450 x , altura de la imagen 597 μm (micrómetros (0,001mm))	
Material no expuesto SE	 <p>100 μm 450x 15kV - Imagen NOV 28 2019 09:37 597 μm SH SE Tr</p>	
Material expuesto sin protección E2	 <p>100 μm 450x 15kV - Imagen NOV 28 2019 09:57 597 μm SH E2 Tr</p>	
Material expuesto sin protección E3	 <p>100 μm 450x 15kV - Imagen NOV 28 2019 10:04 597 μm SH E3 Tr</p>	

Codificación según la figura 5	Imagen de microscopía con zoom de 450 x , altura de la imagen 597 μm (micrómetros (0,001mm))
Material expuesto sin protección E5	

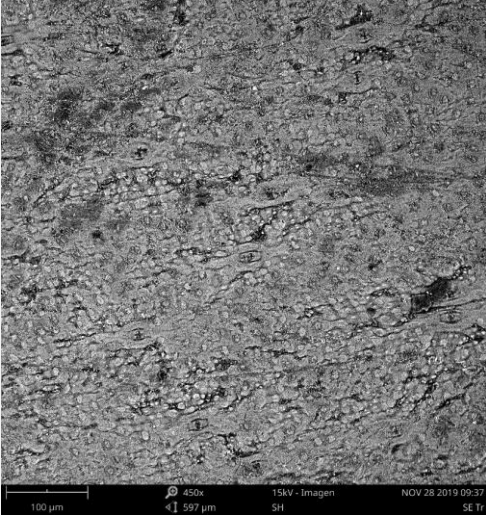
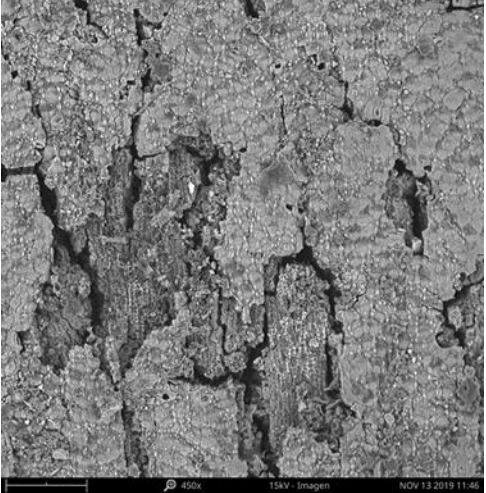
Nota 1: La codificación SE, E8, E9, E 10 se pueden ver en la figura 5 (pp. 15) para relacionar el ángulo de inclinación y la posición respecto al norte.

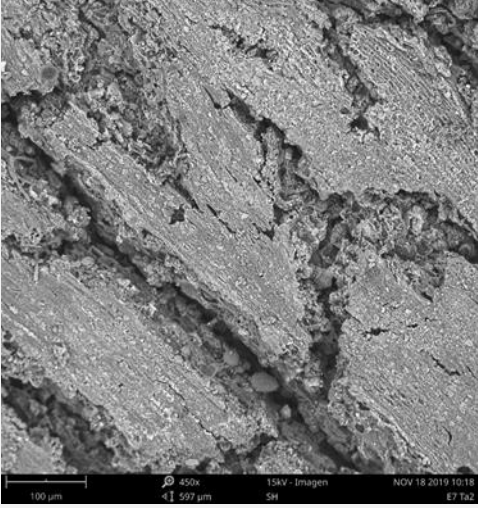
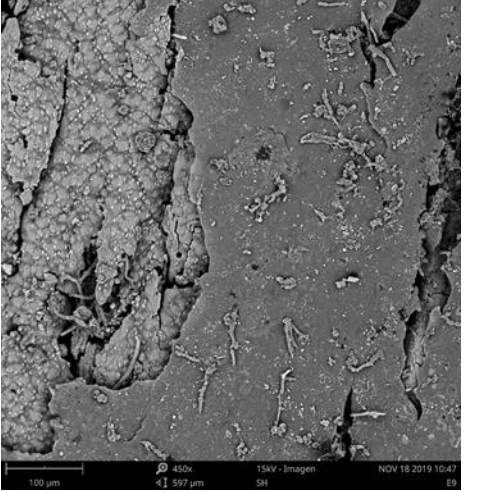
Nota 2: las imágenes de microscopio de barrido electrónico están con zoom de 450 X, la altura de la imagen es de 597 μm , o micrómetros equivalentes a 0,001mm.

Fuente: elaboración propia.

Las muestras expuestas que contaban con película de protección de lasur presentaron alteraciones visibles tanto en la película de protección como en la superficie del material. Comparando estas con la muestra no expuesta SE, se identificaron cambios representativos entre las superficies evaluadas, como, por ejemplo, que la película de protección presentó craquelamiento y rotura, dejando de ser eficiente en la protección del material. La superficie del material también presentó fisuras, craquelamiento y microorganismos, como se evidencia en las muestras E7, E8 y E9. (tabla 2)

Tabla 2. Imagen microscópica de las muestras sin exposición comparada con las muestras expuestas con protección.

Codificación según la figura 5	Imagen de microscopía con zoom de 450 x , altura de la imagen 597 μm (micrómetros (0,001mm))	
Material no expuesto SE		
Material expuesto protegido con película de lasure E8		

Codificación según la figura 5	Imagen de microscopía con zoom de 450 x , altura de la imagen 597 μm (micrómetros (0,001mm))	
Muestra con tratamiento de protección - profilan + lijado previo con lija 220 fina. E7		
Muestra con tratamiento de protección profilan + lijado previo con lija 120 gruesa. E9		

Nota 1: La codificación SE, E8, E9, E 10 se pueden ver en la figura 5 (pp.15) para relacionar el ángulo de inclinación y la posición respecto al norte.

Nota 2: las imágenes de microscopio de barrido electrónico están con zoom de 450 X, la altura de la imagen es de 597 μm, o micrómetros equivalentes a 0,001mm.

Fuente: elaboración propia.

El uso de la película de protección lasur tiene la función de evitar el paso de agentes atmosféricos, como la lluvia y los contaminantes, sobre la epidermis del material, sin embargo, según lo detectado en las imágenes microscópicas, para el caso de las piezas analizadas, la película de protección se deterioró de igual manera que la superficie del material, mostrando, en este caso, su poca resistencia a la acción de los agentes atmosféricos.

Conclusiones

Al analizar comparativamente las muestras expuestas frente a las muestras no expuestas, se pudieron identificar los cambios a nivel de superficie, coloración, presencia de fisuras y pérdida de la superficie del material, corroborando lo expuesto por varios autores respecto a la susceptibilidad

CITAS

e-ISSN: 2422-4529 |  <https://doi.org/10.15332/24224529>

Vol. 8 N.º 1 | enero-junio de 2022

de la guadua frente a la acción de los agentes atmosféricos y su poca durabilidad en condiciones de intemperie.

Se resalta la importancia de la protección por diseño que requieren las estructuras en guadua, lo que manifiesta la diferencia en el estado de los elementos que recibieron mayor intensidad de radiación solar (horizontales) y los elementos que por su posición captaron menos incidencia de esta. (verticales).

Las muestras expuestas con y sin protección presentaron deterioros similares (cambio de color, fisuras y pérdida de capa superficial de material) En las muestras con protección se identificó el descascaramiento de la capa protectora y la pérdida de esta, evidenciando los problemas de adherencia entre la película protectora y el elemento.

En algunos casos se identificó presencia de microorganismos, comprobando las limitaciones y baja efectividad de la capa de protección sobre el material, ya que no cumple su función de protección al 100 %, puesto que, al romperse o desprenderse, permite el paso del agua y de agentes atmosféricos a la superficie propia del material, iniciando el proceso de deterioro de este en un lapso menor a un año, periodo en el cual se evidencian lesiones significativas.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al proyecto de la Facultad de Arquitectura de la Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Número ARQ201802 de la convocatoria Julio César García, para el fomento de la investigación con pertinencia social 2018, Titulado “Estudio de deterioros causados por agentes medioambientales, en construcciones arquitectónicas con estructuras en guadua, metodología de intervención, mantenimiento y prevención”, y a la fundación Sociedad Internacional del bambú y la guadua SIBGUADUA por el apoyo para publicar este *paper*.

Referencias

- Archila H. (2015). *Thermo-hydro-mechanically modified cross-laminated Guadua-bamboo panels* [tesis de doctorado inédita]. University of Bath Department of Architecture and Civil Engineering.
- Barreto W. y Gutiérrez M. (2018). *Estudio de durabilidad en las estructuras de bambú guadua Angustifolia Kunth de La Universidad La Gran Colombia, seccional Armenia-Colombia* [ponencia]. XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira III Congresso Latinoamericano de Estruturas de Madeira, São Paulo, Brasil.
- Barreto W., Martínez M. y Patiño L., (2018) *Propuesta de experimento para estudiar la fotodegradación en estructuras de guadua como lesión típica de seis casos vistos*. Universidad La Gran Colombia.
https://www.researchgate.net/publication/333353883_Propuesta_de_experimento_para_estudiar_la_fotodegradacion_en_estructuras_de_guadua_como_lesion_tipica_de_seis_casos_vistos
- Broto, C. (2006). Tratado Broto de la construcción: patologías de los materiales. Editorial Océano.
- Espitia, M., Sjogreen, C. Rodríguez, N. Calderón, J. Benavides, A. Peraza, R. Espitia, G. y Nemocón, R. (2018). Mechanical and physical characterization of Guadua angustifolia ‘Kunth’ fibers from Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 33-40.
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/7969/8140>

- Herrera, C. Gómez, M. Saavedra, M. Fonthal, G. González, V. y Ariza, H. (2009) Quantification of silicon of foliage of guadua angustifolia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, (19), 14-17.
https://www.researchgate.net/profile/Gerardo_Fonthal/publication/267809240_Cuantificacion_de_silice_presente_en_el_follaje_de_gadua_angustifolia_Del_departamento_del_Quindio_Quantification_of_silicon_of_foliage_of_gadua_angustifolia_From_the_Quindio/links/54c116dd0cf2d03405c4db45/Cuantificacion-de-silice-presente-en-el-follaje-de-gadua-angustifolia-Del-departamento-del-Quindio-Quantification-of-silicon-of-foliage-of-gadua-angustifolia-From-the-Quindio.pdf
- Hidalgo, Ó. (2003). *Bamboo the gift of the gods*. Óscar Hidalgo López.
- Janssen J. (2000). *Technical Report 20: Designing and Building with Bamboo*. Inbar.
https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/INBAR_technical_report_no20.pdf
- Kaminski, S. Lawrence, A. y Trujillo, D. (2016b). *Guía de diseño para la vivienda en bahareque encementado*. Inbar. <https://bambuecuador.files.wordpress.com/2018/01/2015-guia-de-disencc83o-para-viviendas-de-bahareque-encementado.pdf>
- Kaminski, S., Lawrence, A., Trujillo, D. y King, C. (2016a). Structural use of bamboo. Part 2: durability and preservation. *Revista Structural Engineer*, 94(10), 38-43.
- Londoño, J. B. y Cheyne, D. (2005). *U. S. Patent No. 6,957,479*. Patent and Trademark Office.
- Morán, J. (s. f.) *Preservación del bambú en América latina, mediante métodos tradicionales*. Red Internacional de Bambú y de Ratán; Inbar; Facultad de Arquitectura y Urbanismo; Universidad de Guayaquil. <https://www.inbar.int/wp-content/uploads/2020/05/1489455969.pdf>
- Osorio, J., Vélez, J. y Ciro, H. (2007) Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas. *Revista Dyna*, (153), 81-94.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/944/1430>
- Rodríguez, J. A. (1998). *Patología de la madera*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Wang, X. y Ren, H. (2008a). Comparative study of the photo-discoloration of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) and two wood species. *Applied Surface Science*. 254, 7029-7034.
<https://www.researchgate.net/publication/223602282>
- Wang, X. y Ren, H. (2008b). *Surface deterioration of moso bamboo (Phyllostachys pubescens) induced by exposure to artificial sunlight*. The Japan Wood Research Society.
<https://www.doi.org/10.1007/s10086-008-0994-0>
- Weather Spark. (2021, 28 de junio). Clima promedio en Chía Colombia. *Weather Spark*.
<https://es.weatherspark.com/y/23319/Clima-promedio-en-Ch%C3%ADa-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Precipitation>
- Xu, G., Wang, L., Liu, J. y Wu, J. (2013). FTIR and XPS analysis of the changes in bamboo chemical structure decayed by white-rot and brown-rot fungi. *Applied Surface Science*, 280, 799-805.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433213009926#:~:text=FTIR%20and%20XPS%20results%20showed,And%20the%20brown%20rot%20G>
- Yu H., Pan X., Xu M., Yang W., Wang J. y Zhuang, X. (2018) Surface chemical changes of UV-light irradiated Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel). *Royal Society Open Science*, 5(6).
<http://doi.org/10.1098/rsos.180110>
- Yu, H., Pan, X., Wang, Z., Yang, W., Zhang, W. y Zhuang, X. (2018). *Effects of heat treatments on photoaging properties of Moso Bamboo (Phyllostachys pubescens Mazel)*. Wood Science and Technology.
- Zea, E., Habert, G., Correal, J., Archilla, H., Echeverry, J. y Trujillo, D. (2018) Industrial or Traditional Bamboo Construction? Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Bamboo-Based Buildings. *Sustainability*, 10(9), 30-96; <https://doi.org/10.3390/su10093096>