

GUÍA DE TRATAMIENTOS PARA LAS LESIONES DE LA ARQUITECTURA CARIBEÑA COSTARRICENSE

Proyecto de investigación

Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de agentes causantes de lesiones en las edificaciones



ARQUITECTURA

AGENTES / LESIONES

TRATAMIENTOS



WESTERN
ILLINOIS
UNIVERSITY



ESCUELA
ARQUITECTURA
URBANISMO
TEC

TEC

GUÍA DE TRATAMIENTOS PARA LAS LESIONES DE LA ARQUITECTURA CARIBEÑA COSTARRICENSE



Instituto Tecnológico de Costa Rica

Equipo investigador

Dra. Arq. Kenia García Baltodano (coordinadora)
MSc. Arq. Ileana Hernández Salazar
Dr. Arq. David Porras Alfaro
MSc. Ing. Dawa Méndez Álvarez
MArch. Enmanuel Salazar Ceciliano

Equipo estudiantil

Angie Rodríguez Rosales
Henry Rodríguez Sevilla
Alonso González Avalos



San José, Costa Rica
Mayo 2023

CONTENIDO

Resumen

Introducción

01.	Arquitectura Caribeña Costarricense: el caso de Puerto Limón	5
02.	Lesiones recurrentes en la arquitectura caribeña costarricense	9
03.	Agentes de biodeterioro en la arquitectura caribeña costarricense	21
04.	Metodología para la identificación de tratamientos	25
05.	Tratamientos:	31
	5.1. Industriales	31
	5.2. Empíricos / tradicionales	44
	5.3. Estrategias pasivas	47
	5.4. Otras buenas prácticas	52
06.	Referencias bibliográficas	55



RESUMEN

Los inmuebles de arquitectura caribeña costarricense al estar contruidos principalmente en madera y mantenerse expuestos a condiciones ambientales de alta humedad, temperatura y precipitación, son muy susceptibles a sufrir daños y deterioros. Muchas de las lesiones que estas edificaciones sufren son producto de agentes de biodeterioro como hongos o insectos, así como por problemas asociados a la presencia de humedades, la pérdida de material, entre otros.

El proyecto de investigación “Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de agentes causantes de lesiones en edificaciones” realizó un esfuerzo por identificar lesiones recurrentes en este tipo de arquitectura, tomando como caso de estudio la ciudad de Limón. Para ello, se realizaron levantamientos de daños y toma de muestras en algunos inmuebles seleccionados, así como la identificación de agentes de biodeterioro.

Adicionalmente, a través de un proceso de investigación cualitativa se identificaron tratamientos industriales y empíricos utilizados para proteger y conservar la madera, estos últimos fueron puestos a prueba a través de ensayos tanto en campo como en laboratorio para valorar su efectividad en relación a los agentes de biodeterioro registrados durante el proyecto. Esta guía, como parte de los productos de la investigación, documenta los principales tratamientos, estrategias y buenas prácticas identificadas para conservar las edificaciones en madera.



ABSTRACT

The buildings of Costa Rican Caribbean architecture, being constructed mainly of wood and exposed to environmental conditions of high humidity, temperature, and precipitation, are very susceptible to damage and deterioration. Many of the injuries that these buildings suffer are the result of biodeterioration agents such as fungi or insects, as well as problems associated with the presence of humidity, and loss of material, among others.

The research project “Conservation of Costa Rican Caribbean Architecture through the Application of advanced techniques for the study of agents causing lesions in buildings” made an effort to identify recurrent lesions in this type of architecture, taking the city of Limón as a case study. For this purpose, damage surveys and sampling were carried out in some selected buildings, as well as the identification of biodeterioration agents.

Additionally, through a qualitative research process, industrial and empirical treatments used to protect and conserve wood were identified, and the latter was tested through field and laboratory trials to assess their effectiveness concerning the biodeterioration agents recorded during the project. This guide, as part of the research products, documents the main treatments, strategies, and best practices identified to conserve wood buildings.



INTRODUCCIÓN

Esta guía es uno de los resultados del proyecto de investigación “Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de agentes causantes de lesiones en edificaciones”, desarrollado con el financiamiento de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Este proyecto contó con la participación de investigadores y estudiantes de las escuelas de Arquitectura y Urbanismo e Ingeniería Forestal del TEC, así como la colaboración del Departamento de Ciencias Biológicas de Western Illinois University.

El documento se compone de seis secciones que presentan resultados parciales del proyecto de investigación. La primera introduce la arquitectura caribeña costarricense de la ciudad de Limón como objeto de estudio principal. La definición que se muestra en el documento responde al resultado de un proceso de identificación de características y al inventariado de edificaciones aún existentes en la ciudad de Limón realizado entre los años 2018 y 2021, como parte del primer objetivo del proyecto de investigación.

El segundo objetivo del proyecto permitió diagnosticar las lesiones presentes en una muestra de cuatro inmuebles (17% del total de edificaciones inventariadas). La síntesis de estos resultados se presenta en la segunda sección de este documento. La tercera sección presenta la identificación de agentes de biodeterioro realizada en el tercer objetivo del proyecto, a partir de análisis de laboratorio utilizando secuenciación tipo Sanger e Illumina.

La cuarta sección muestra la metodología utilizada para la identificación de los tratamientos, mismos que se dividen en cuatro categorías (empíricos, industriales y estrategias pasivas y otras buenas prácticas) y se describen detalladamente en la quinta sección del documento.

Con este material se pretende documentar una serie de tratamientos utilizados para el control o eliminación de agentes de biodeterioro que afectan la madera en las edificaciones de arquitectura caribeña costarricense. Se espera que esta guía pueda servir como un recurso de consulta para profesionales y propietarios interesados en la conservación de este tipo de inmuebles, así como para la formulación de nuevas acciones enfocadas en la preservación del patrimonio arquitectónico limonense.



El caso de Puerto Limón

El proyecto de investigación en el que se enmarca esta guía utilizó como zona de estudio el centro histórico de Limón y el barrio de Jamaica Town (Mapa 1), consideradas entre las áreas más antiguas de la ciudad. Sin embargo, es importante señalar que la arquitectura caribeña costarricense se extiende a lo largo de la provincia de Limón Costa Rica.

Este tipo de arquitectura está relacionada con las edificaciones que introdujo la United Fruit Company durante la época del enclave bananero. Con el tiempo los modelos originales fueron incorporando algunas adaptaciones arquitectónicas y constructivas que les permitieran una mayor adaptación climática (Sanou y Quesada, 1998). Limón presenta condiciones ambientales particulares de alta temperatura, humedad y precipitación, lo que hace necesario recurrir a estrategias pasivas que aseguren el confort higrotérmico de las personas.

Si bien se considera que la arquitectura caribeña costarricense es una adaptación del estilo victoriano utilizado en las Antillas (Woodbridge, 2003), lo cierto es que se trata de una versión estéticamente más sencilla, con elementos decorativos menos detallados, dando predominancia a los aspectos funcionales y a la resolución de elementos bioclimáticos. Es una arquitectura adaptada a su entorno, evidenciando en muchos casos un carácter vernacular.

La tabla 1 resume las principales características identificadas por el proyecto “Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de agentes causantes de lesiones en edificaciones” a partir del proceso de investigación realizado entre los años 2018 y 2022.

Antigua Casa Marcus Garvey
Fuente: propia



Tabla 1. Características de la arquitectura caribeña costarricense de la ciudad de Limón

Elementos arquitectónicos	Elementos constructivos	Elementos decorativos	Materialidad
Buhardillas	Construcción elevada sobre pilotes	Calados de madera patrones geométricos o curvos	Madera en cerramientos, estructura de paredes y cubierta
Corredores	Sistema de entramado liviano tipo balloon frame	Colores llamativos en las paredes exteriores, principalmente turquesa, verde y celeste	Uso de tablillas
Galerías	Cubiertas con pendientes pronunciadas		Pilotes de madera o concreto
Balcones			Lámina ondulada metálica en cubierta y algunos cerramientos
Monitor o cámara de ventilación			
Aleros pronunciados y antealeros			
Soportal			
Petatillos o entramados de madera en sus ventanas y en la parte superior de las paredes			
Escaleras exteriores			
Postigos			
Lucernarios			

Entre las principales estrategias bioclimáticas identificadas en este tipo de arquitectura están: la ventilación natural y cruzada, las cubiertas ventiladas, el uso de aleros amplios, las cámaras de aire ventiladas, los entresijos ventilados y el uso de materiales de baja inercia térmica.

Como parte del proceso de investigación se realizó un inventario de las edificaciones que aún se conservan dentro del área de estudio (García et al., 2021). En total se lograron inventariar 23 edificaciones, divididas en dos tipologías:

- 16 Tipo 1 (inmuebles sin modificaciones o con muy pocas modificaciones, conservan la mayoría de las características de arquitectura caribeña costarricense).
- 7 Tipo 2 (inmuebles poco modificados, conservan la mayor parte de las características de arquitectura caribeña costarricense).

El mapa 1 muestra la ubicación de los inmuebles de arquitectura caribeña costarricense identificados en el casco histórico y barrio de Jamaica Town de Puerto Limón.

Mapa 1. Inventario de edificaciones de arquitectura caribeña costarricense Ciudad de Limón, Costa Rica



Proyecto de investigación: Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de los agentes causantes de lesiones en las edificaciones		TEC Tecnológico de Costa Rica
Simbología Inmuebles tipo 1 ● Zona de estudio □ Inmuebles tipo 2 ● Cuadrantes □		Escala 1:9 500 0 100 200 300 m Proyección: CRTM05. Datum: WGS84. Fuente: elaboración propia. Autor: equipo investigador. Fecha: julio, 2021.

Una vez realizada la identificación de la arquitectura caribeña costarricense en la ciudad de Limón, el proyecto de investigación “Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de los agentes causantes de lesiones en las edificaciones” abordó el registro y diagnóstico de los daños presentes en estas estructuras.

El primer proceso de identificación de lesiones consideró la totalidad de los inmuebles contemplados en el “Inventario de edificaciones de arquitectura caribeña costarricense en la ciudad de Limón” (García et al., 2021). La ficha correspondiente a cada edificación, incorporó el registro general de los daños de acuerdo con la inspección visual realizada. Para la correcta identificación de las lesiones, se estableció una clasificación de acuerdo con su origen. La descripción para cada uno de los tipos fue la siguiente:

- **Lesiones químicas:** son el resultado de la exposición de los materiales a la acción del medio ambiente originando reacciones químicas o electroquímicas.
- **Lesiones físicas:** aquellas generadas por la acción de fenómenos o agentes físicos (lluvia, viento, calor, humedad, cambios de temperatura).
- **Lesiones mecánicas:** aquellas de tipo estructural que comprometen la estabilidad de los elementos constructivos.
- **Lesiones orgánicas:** son el resultado de la acción de agentes biológicos.

Una vez realizada la identificación general de lesiones, se inició con el trabajo de diagnóstico que contempló la ubicación de cada uno de los daños, un análisis más específico de cada tipo de lesión y la elaboración de planos detallados de cada inmueble. Para llevar a cabo esta tarea el equipo realizó un proceso de selección de edificaciones siguiendo criterios como la tipología constructiva, el nivel de acceso al inmueble, declaratoria de protección y estado de conservación. A partir de la aplicación de estos criterios se seleccionaron cuatro edificaciones para desarrollar el proceso de diagnóstico. Los inmuebles seleccionados fueron: la Antigua Capitanía de Puerto Limón (AAA-Tipo 1-01), la Casa Misionera de la Iglesia Bautista (W-Tipo 1-01), la Vivienda unifamiliar aislada (M-Tipo 1-01) y la Vivienda pareada (MM-Tipo 1-01).

Para facilitar la identificación de lesiones en los planos se elaboró una tabla de simbología que codificó y ubicó los daños de acuerdo al elemento constructivo en el que se encontraron: cubierta, columnas, paredes, cielos, escaleras, pisos, pilotes, barandas y carpinterías (Figura 1). Los deterioros se identificaron tanto en planta como en sección y elevación, para permitir un análisis integral de los inmuebles.



SIMBOLOGÍA DE LESIONES

“Proyecto Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de agentes causantes de lesiones en edificaciones”

PAREDES

Símbolo	Descripción
A1	Depósitos de suciedad por contaminación atmosférica
A2	Pérdida de estanqueidad
A3	Restituciones con materiales contemporáneos
A4	Alteración cromática
A5	Deshidratación
A6	Pudrición
A7	Tinción por arrastre de elementos de fijación
A8	Tinción por arrastre de elementos de fijación
A9	Oxidación de elementos del sistema eléctrico
A10	Ataque de agentes biológicos
A11	Presencia de vegetación inferior
A12	Humedad por capilaridad
A13	Fisuras

CARPINTERÍAS

Símbolo	Descripción
D1	Pérdida de estanqueidad
D2	Rotura
D3	Oxidación
D4	Ataque de agentes biológicos
D5	Tinción por arrastre de elementos de fijación
D6	Pérdida de acabados
D7	Pudrición
D8	Deformaciones de elementos de marquetería
D9	Disgregación de material
D10	Deshidratación

BARANDAS

Símbolo	Descripción
F1	Disgregación de materiales
F2	Pudrición
F3	Ataque de agentes biológicos
F4	Depósitos de suciedad por contaminación
F5	Deformaciones
F6	Presencia de elementos impropios
F7	Pérdida de acabados
F8	Deshidratación

PISOS

Símbolo	Descripción
B1	Rotura
B2	Restituciones con materiales contemporáneos
B3	Pérdida de materiales
B4	Pérdida de acabados
B5	Pudrición
B6	Deformaciones de estructura de entrapiso
B7	Alteraciones cromáticas
B8	Ataque de agentes biológicos
B9	Degradación de materiales

CUBIERTA

Símbolo	Descripción
C1	Oxidación de elementos metálicos
C2	Filtraciones
C3	Rotura de elementos de canalización pluvial
C4	Ataque de agentes biológicos
C5	Pudrición
C6	Agentes de vegetación superior

CIELORRASO

Símbolo	Descripción
E1	Pérdida de materiales
E2	Depósitos de suciedad por contaminación atmosférica
E3	Pérdida de acabados
E4	Ataque de agentes biológicos
E5	Disgregación de materiales
E6	Restituciones con materiales contemporáneos

COLUMNAS

Símbolo	Descripción
G1	Ataque de agentes biológicos
G2	Pudrición

PILOTES

Símbolo	Descripción
I1	Presencia de hongos
I2	Deshidratación

OTROS

Símbolo	Descripción
J1	Acebolladura

ESCALERAS

Símbolo	Descripción
H1	Depósitos de suciedad
H2	Deshidratación

Figura 1. Simbología de lesiones. Proyecto de investigación “Conservación de la arquitectura caribeña costarricense a partir de la aplicación de técnicas de avanzada para el estudio de los agentes causantes de lesiones en las edificaciones”. Fuente: Garay (2021).

El primer inmueble analizado fue la Antigua Capitanía de Puerto Limón, propiedad de la Municipalidad de Limón. Esta edificación registró 110 lesiones en total (Figuras 2 y 3). Como conclusiones de este proceso, el 37% de los daños se ubicaron en las paredes, el 24% en las carpinterías de puertas y ventanas, 12% en la cubierta y un 11% en los pisos. Las lesiones más recurrentes que se presentaron son de origen orgánico y físico, siendo la presencia de agentes biológicos, pudrición y disgregación del material, las más generalizadas en el inmueble. En este sentido, hay una clara relación entre las condiciones climáticas de la zona de estudio y el material del edificio, con la aparición de lesiones asociadas a esta interacción.

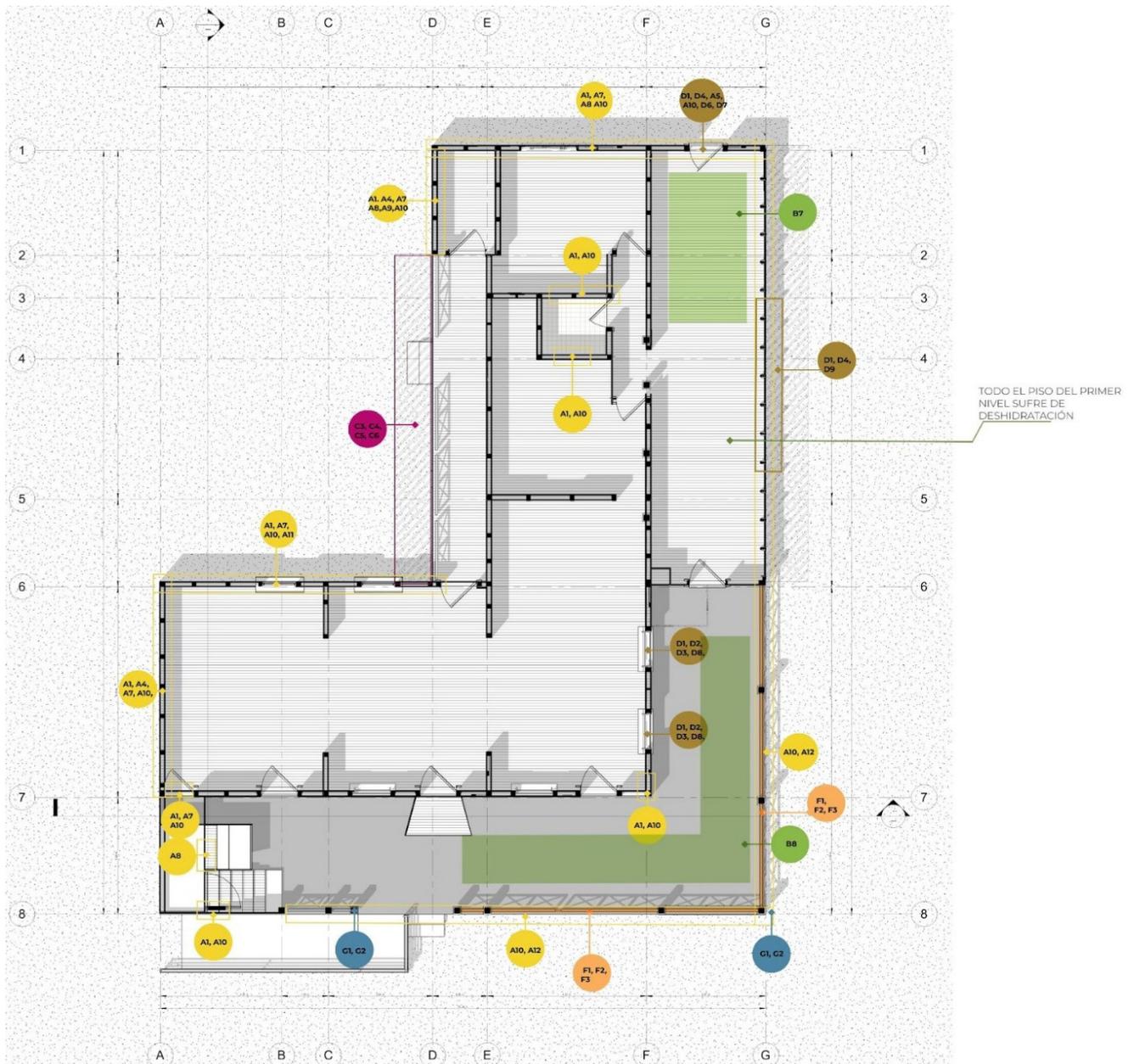


Figura 2. Planos de lesiones. Antigua Capitanía de Puerto Limón. Nivel 1. Fuente: Garay (2021).

Otros de los daños presentes en este inmueble derivados de factores físicos, son la falta de estanqueidad de las carpinterías, la presencia de depósitos de suciedad por contaminación atmosférica y la deshidratación de los elementos de madera principalmente en pisos, escaleras y barandillas. Además, es importante destacar que el inmueble presenta deterioro incluso en piezas recientemente sustituidas, por lo que la antigüedad de los materiales constructivos no resulta por sí mismo un factor determinante al momento de identificar las causas de la patología presente en la edificación.



Figura 3. Planos de lesiones. Antigua Capitanía de Puerto Limón. Nivel 2. Fuente: Garay (2021).

El siguiente caso de estudio fue la Casa Misionera de la Iglesia Bautista, propiedad de Jamaican Central America Baptist Mission. Este inmueble destaca dentro del paisaje urbano histórico de la ciudad de Limón como la única edificación aislada de dos niveles que, de acuerdo con la clasificación realizada por este proyecto de investigación, conserva la mayor cantidad de características de la arquitectura caribeña costarricense.

Para este caso se obtuvo el registro de 159 lesiones. La edificación presenta un deterioro generalizado que afecta todos sus niveles estructurales, siendo los daños en las columnas perimetrales, carpinterías de puertas y ventanas, paredes y cielos los más importantes con porcentajes de 33%, 23%, 16% y 13% respectivamente. Las lesiones más recurrentes son de origen mecánico, orgánico y físico, siendo la presencia de agentes biológicos, disgregación y pérdida del material, los daños más frecuentes (Figuras 4 y 5).

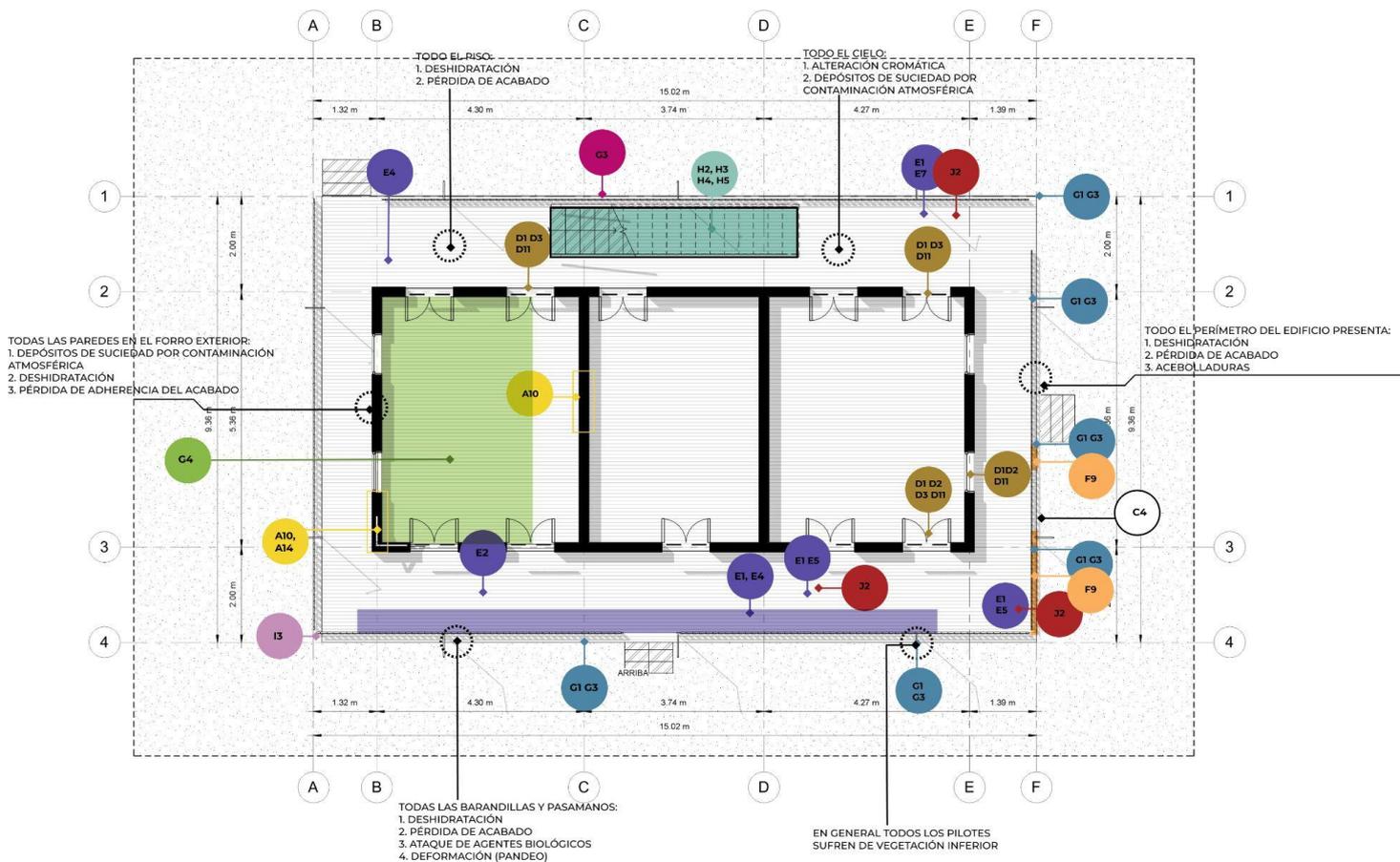


Figura 4. Planos de lesiones. Casa Misionera de la Iglesia Bautista. Nivel 1. Fuente: Garay (2021).

La Casa Misionera presenta otras lesiones de origen físico y químico tales como la pérdida de la estanqueidad, presencia de filtraciones en la cubierta y deshidratación de los elementos de madera en barandillas, escaleras y pisos. Al igual que como sucede en la Antigua Capitanía, evidencia restituciones contemporáneas empleando madera y otros materiales que también presentan afectación, por tanto en este caso tampoco resulta determinante la edad del edificio o de sus elementos constructivos en la aparición de las lesiones.

Tanto la Casa Misionera de la Iglesia Bautista (W-Tipo 1-01) como la Antigua Capitanía de Puerto Limón (AAA-Tipo 1-01), son edificaciones que se encuentran protegidas por la Declaratoria de Patrimonio Histórico-Arquitectónico y de acuerdo con los registros del Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (CICPC), han sido objeto de intervenciones en todos sus niveles estructurales en las últimas dos décadas.

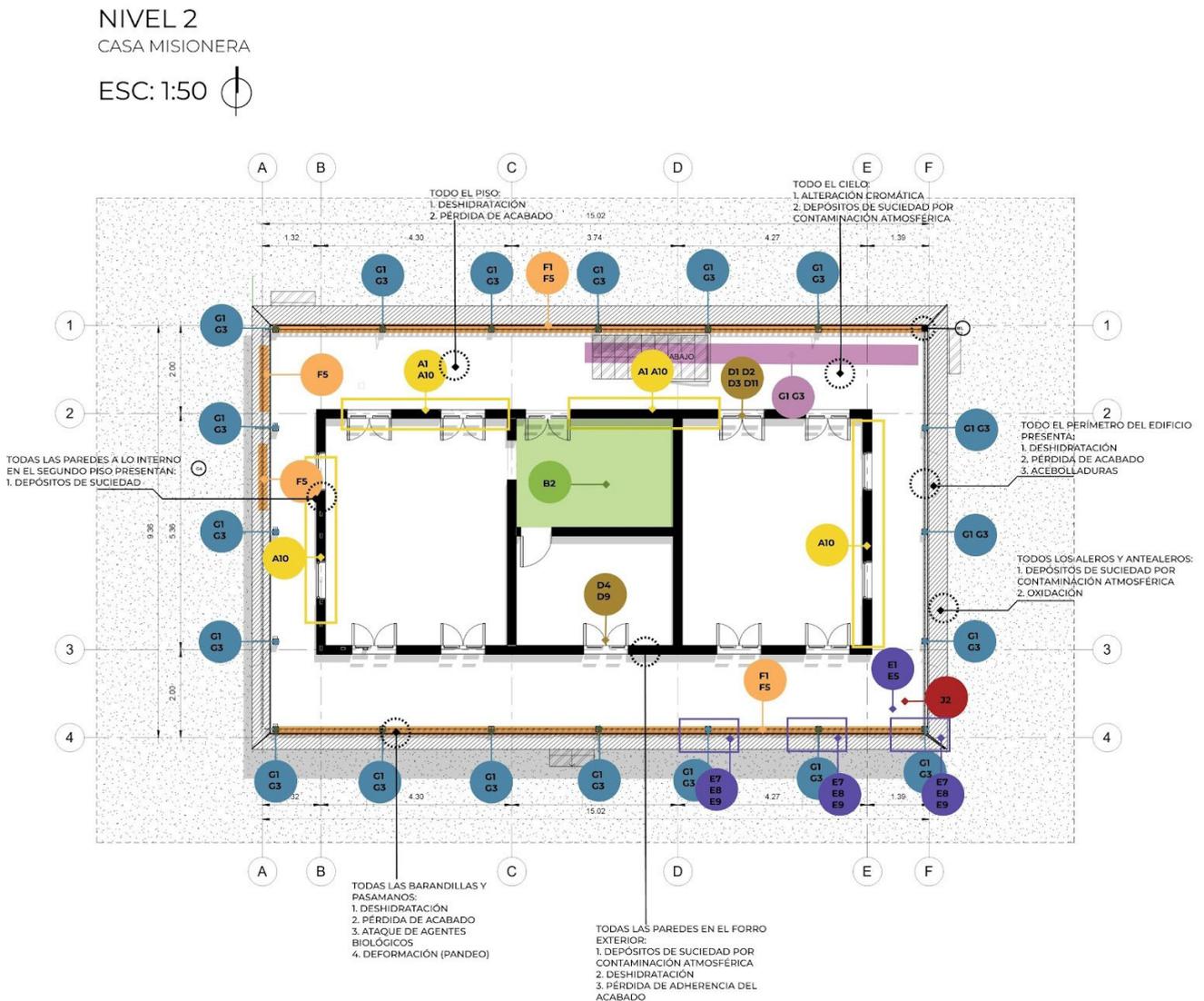


Figura 5. Planos de lesiones. Casa Misionera de la Iglesia Bautista. Nivel 2. Fuente: Garay (2021).

El siguiente de los inmuebles analizados fue la Vivienda unifamiliar aislada (M-Tipo 1-01). Se trata de una edificación de carácter privado, de un solo nivel, ubicada en el primer ensanche de la ciudad de Limón (Jamaica Town). En este caso, la identificación de daños registró 103 lesiones en total. De ellas, el 30% se ubicó en las paredes, 20% en carpinterías de puertas y ventanas y 18% en los pilotes de madera. En cuanto al origen de las lesiones destaca el orgánico y físico, siendo la presencia de agentes biológicos, la disgregación y la pérdida de acabado, los más generalizados en el inmueble (Figura 6).

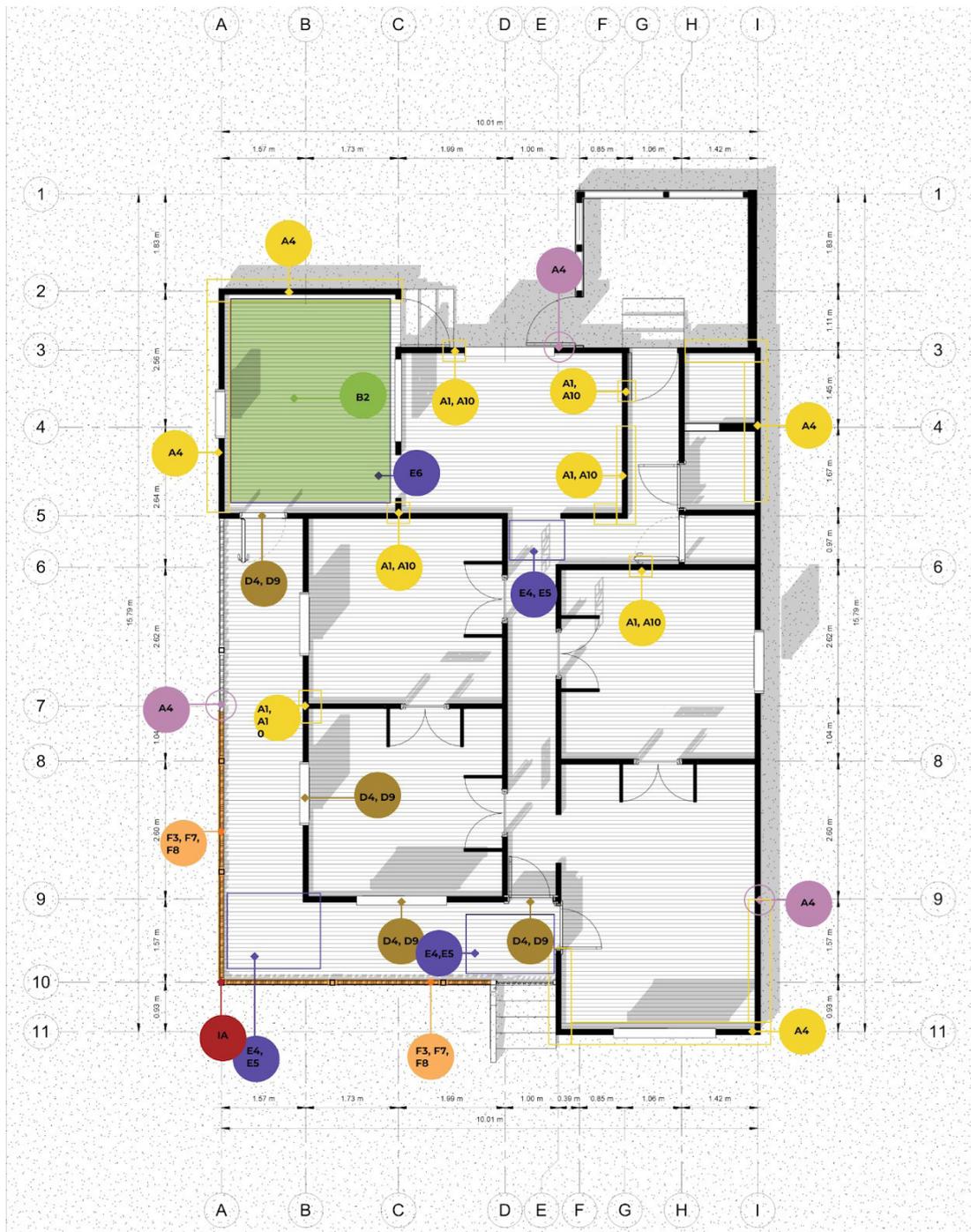


Figura 6. Planos de lesiones. Vivienda unifamiliar aislada (M-Tipo 1-01). Fuente: Garay (2021).

Otros de los deterioros registrados en esta edificación fueron de origen químico, tal es el caso de las lesiones por oxidación en las cubiertas y de origen físico como la deshidratación de los elementos de madera y la presencia de depósitos de suciedad por contaminación atmosférica (Figura 7 y 8).

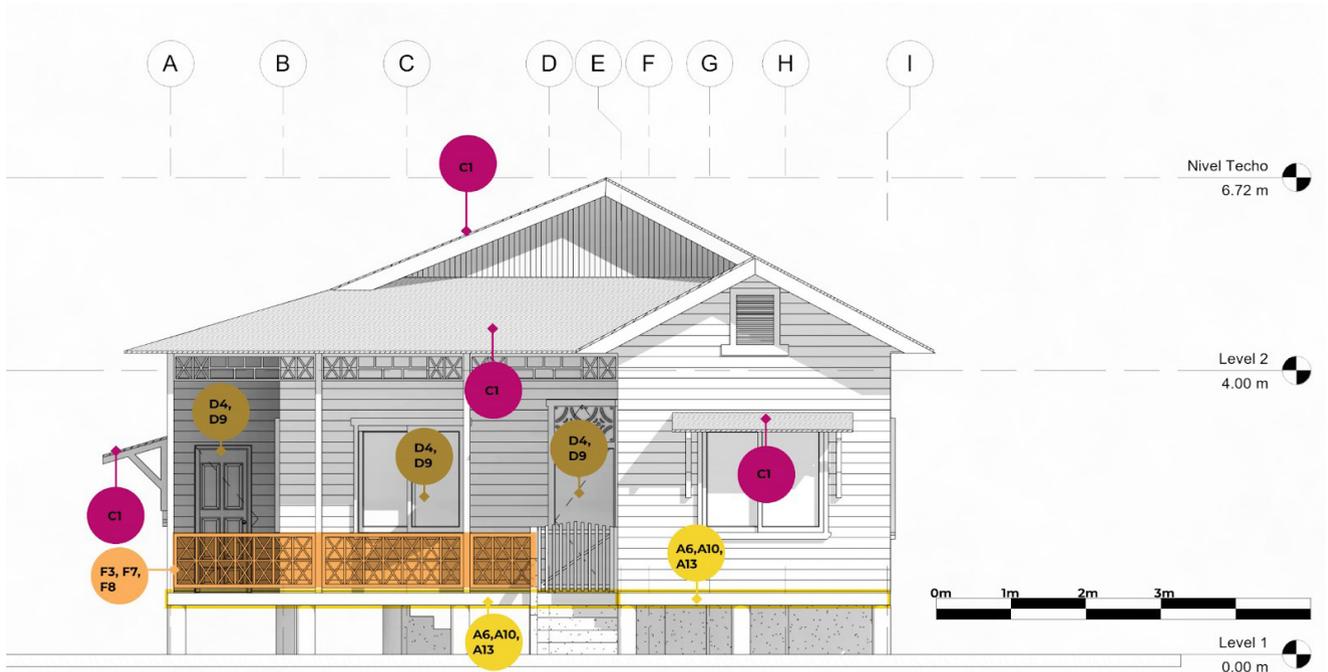


Figura 7. Planos de lesiones. Vivienda unifamiliar aislada (M-Tipo 1-01). Elevación principal. Fuente: Garay (2021).

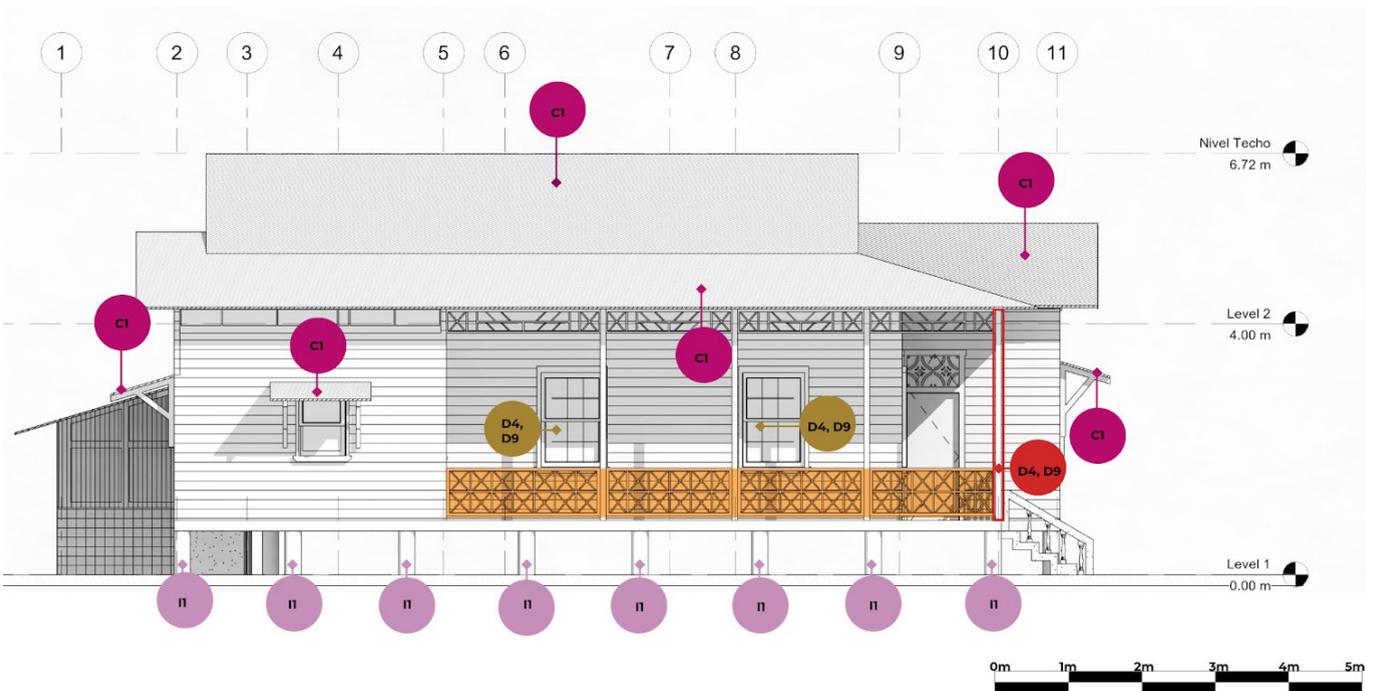


Figura 8. Planos de lesiones. Vivienda unifamiliar aislada (M-Tipo 1-01). Elevación lateral. Fuente: Garay (2021).

Debido al deterioro sufrido consecuencia del ataque de agentes biológicos, diversos sectores del inmueble han sido objeto de sustituciones con madera nueva tal es el caso de las columnas perimetrales, las barandillas y los petatillos. Similar a los inmuebles estudiados anteriormente, las piezas nuevas producto de estas intervenciones no están exentas de lesiones, ya sea por agentes físicos y orgánicos, o bien por daños relacionados con el tipo de madera utilizada para la sustitución de elementos de la estructura primaria. En estos casos se registraron lesiones mecánicas principalmente acebolladuras.

El último de los casos analizados fue la Vivienda pareada (MM-Tipo 1-01). Se clasifica dentro de la tipología funcional de vivienda pareada por tratarse de un volumen alargado dividido en 4 unidades habitacionales independientes. La edificación se localiza en el centro histórico de la ciudad de Limón. Por tratarse de una propiedad privada, la identificación de lesiones se realizó a nivel de fachadas y se obtuvo un registro de 56 lesiones en total.

Las principales afectaciones en este inmueble se presentan en barandas, carpinterías de puertas y ventanas y paredes, con porcentajes de 30%, 22% y 20% respectivamente. En cuanto al tipo de lesiones el ataque de agentes biológicos, la pudrición y la oxidación son las que más se registraron, siendo los daños de origen orgánico y químico los que más inciden en el estado de conservación del inmueble (Figura 9, 10 y 11).

La edificación presenta afectaciones de origen físico como la pérdida de estanqueidad de las carpinterías, así como deformaciones y deshidratación de elementos de madera. Además, vinculada a su localización, todos los elementos que conforman las elevaciones presentan depósitos de suciedad por contaminación atmosférica.

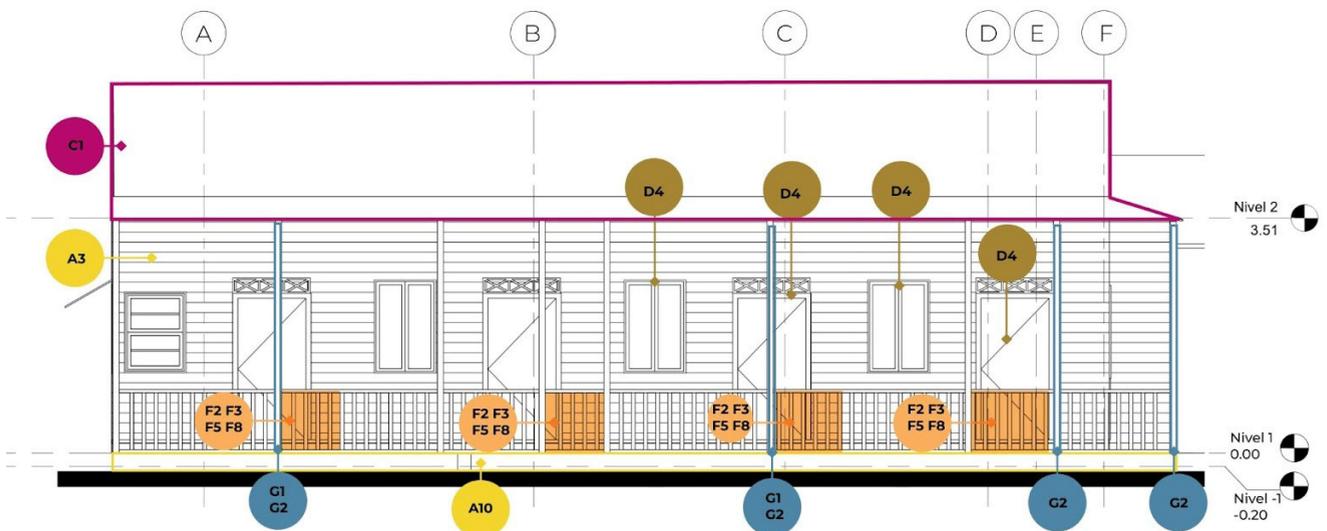


Figura 9. Planos de lesiones. Vivienda pareada (M-Tipo 1-01). Fuente: Garay (2021).

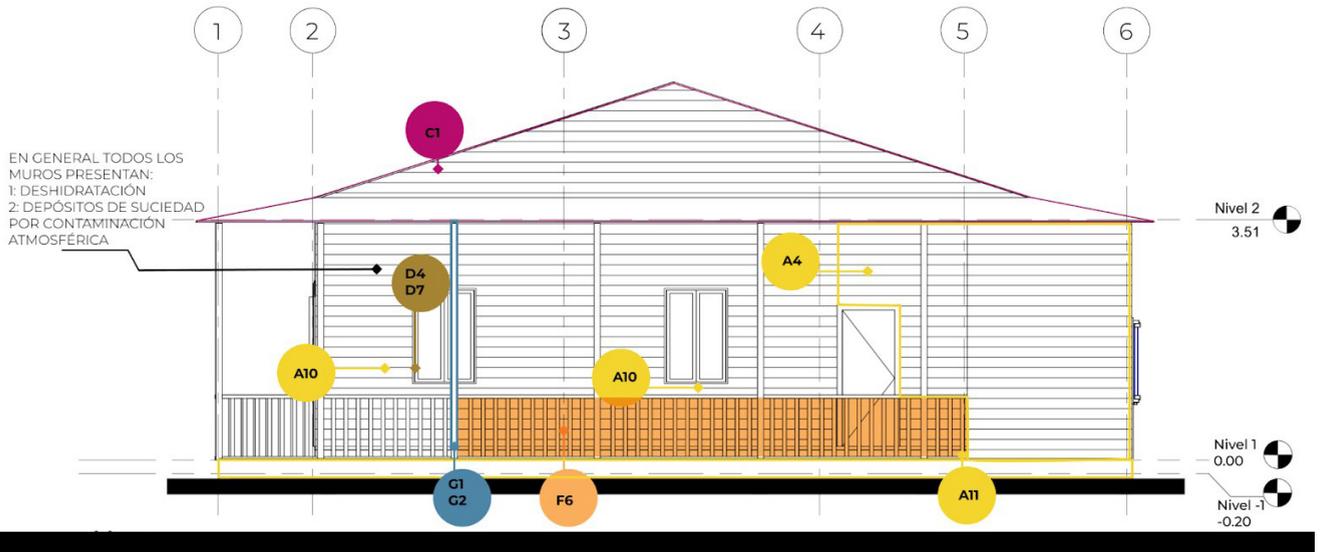


Figura 10. Planos de lesiones. Vivienda pareada (M-Tipo 1-01). Elevación principal. Fuente: Garay (2021).

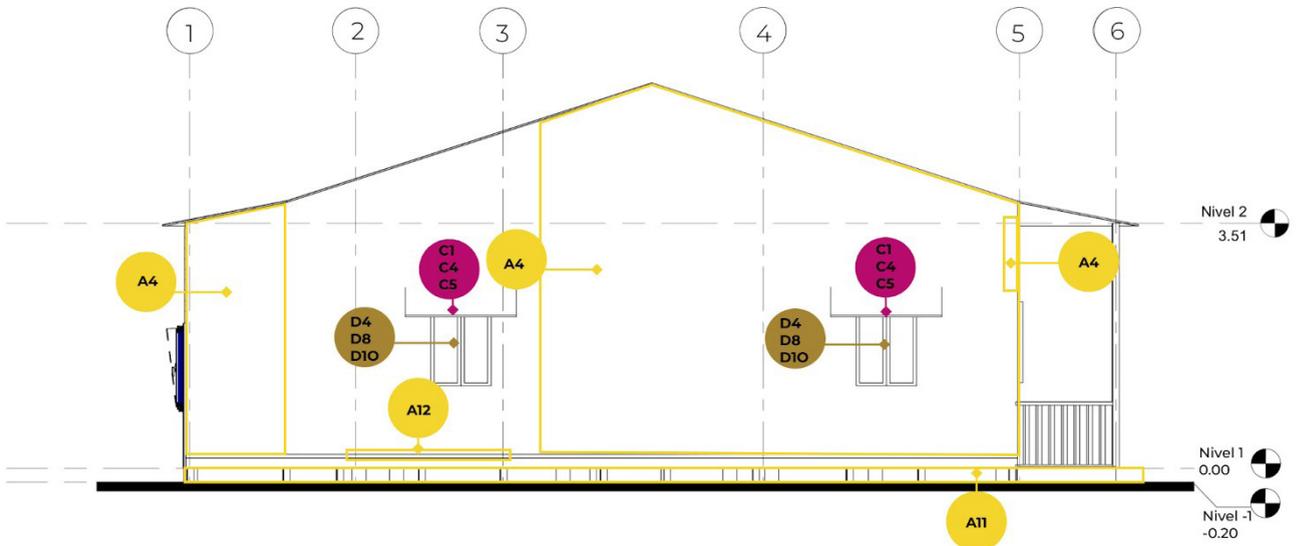


Figura 11. Planos de lesiones. Vivienda pareada (M-Tipo 1-01). Elevación lateral. Fuente: Garay (2021).

De acuerdo con el análisis realizado a cada uno de los inmuebles descritos anteriormente, la Casa Misionera es el que presenta un estado de conservación más comprometido, dado que las afectaciones involucran todos los niveles estructurales de la edificación. Parte del segundo nivel presenta lesiones en columnas y vigas principales, por tanto el riesgo de colapso de la estructura es alto.

Los datos recolectados muestran que las paredes y las carpinterías de puertas y ventanas son los elementos constructivos que más presentan lesiones. Los cuatro inmuebles analizados evidencian afectación en porcentajes importantes en estos elementos. En cuanto al origen de los daños, el orgánico y el físico son los más frecuentes. La presencia de agentes biológicos es recurrente y afecta todos los niveles estructurales de los inmuebles. Por otra parte, deterioros como pudrición, disgregación de material y oxidación son otras lesiones que se presentan en las edificaciones analizadas, salvo en la Antigua Capitanía de Puerto, que por haber sido objeto de intervención durante la última década, no tiene a la fecha, lesiones químicas en su cubierta.

La relación entre la presencia de daños de origen orgánico con los de origen físico es consecuente con la evolución de las lesiones a lo largo del tiempo, haciendo evidente la inexistencia de programas de conservación dirigidos a la prevención de los deterioros o bien a la atención de los daños en etapas tempranas.

Por el alcance del presente proyecto de investigación, las labores de identificación de daños no se efectuaron en la estructura de entresijos ni de cubiertas. A pesar de que el registro de lesiones se llevó a cabo de manera minuciosa, se requiere de estudios más detallados que permitan abarcar la totalidad de la estructura primaria de los inmuebles. Para realizar estos estudios es necesario aplicar técnicas no invasivas en las edificaciones así como análisis de la capacidad de carga en aquellas en las que se contemplan funciones de atención al público (Casa Misionera de la Iglesia Bautista (W-Tipo 1-01) y Antigua Capitanía de Puerto Limón (AAA-Tipo 1-01)).

Según los aislamientos realizados en las edificaciones: W-Tipo1-01, AAA-Tipo1-01, M-Tipo1-01 y MM-Tipo1-01, presentes en la zona de estudio, se identificaron 9 géneros con mayor abundancia de agentes de biodeterioro, los cuales se describen en la siguiente sección:

Aspergillus

A. niger es la especie con mayor presencia en Limón. Pertenece a la familia Aspergillaceae, orden Eurotiales (Battaglia et al., 2011). Es un hongo filamentososo que crece de manera aerobia en materia orgánica. En la naturaleza, se puede encontrar en el suelo, hojarasca, composta y en material vegetal en descomposición. Es capaz de crecer en un amplio espectro de temperatura, entre los 6°C y 47 °C, con una temperatura óptima de crecimiento de entre 35°C y 37°C. Asimismo, es capaz de crecer en un amplio rango de pH de entre 1,4 y 9,8. Debido a lo anterior y a su capacidad de producir una gran cantidad de esporas asexuales externas (conidiosporas), esta especie se encuentra ampliamente distribuida, particularmente en áreas cálidas y húmedas (Schuster et al., 2002). *A. niger* es capaz de dañar la madera causando pudrición blanda de tipo I y tipo II (Hamed, 2013) y daño estético. La primera consiste en la formación de cavidades cilíndricas o bicónicas generadas en las paredes secundarias de las fibras por la acción del hongo, mientras que la segunda se refiere a una forma de erosión debida a la degradación completa de la pared secundaria de las células vegetales (Carbajo García, 2015).

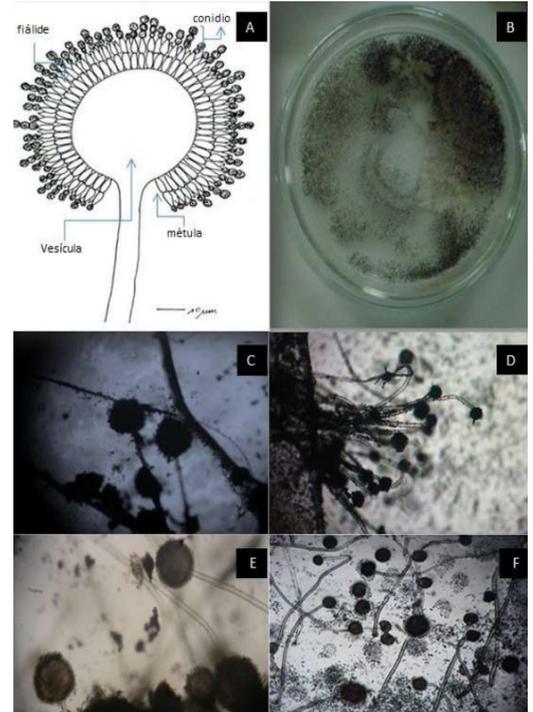


Figura 12. *Aspergillus niger* A. Cuerpo fructífero, B. Crecimiento en placa de Petri, C. Micelio reproductivo y vegetativo a 40X, D. Micelio reproductivo a 10X, E. Cuerpo fructífero 100X, F. cuerpo fructífero 40X. Fuente: Araujo-Blanco (2015).

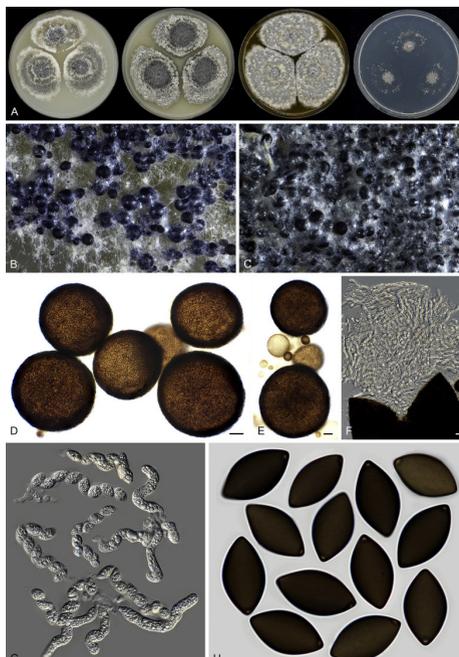


Figura 13. *Condenascus tortuosus*. A. Colonias. B-E. Ascomas maduros. F-G. Ascas. H. Ascosporas. Barras de escala: D-E = 50 µm; F = 20 µm; G-H = 10 µm. Fuente: Wang et al. (2019 a).

Condenascus

Condenascus es un hongo de la familia Chaetomiaceae, orden Sordariales, filo Ascomycota. Presenta ascomas (cuerpo fructífero sexual de un hongo ascomicete que produce ascas y ascosporas) superficiales, de una coloración azul oscuro, con una forma globosa o semiglobosa. La pared del ascoma es de color marrón, semitranslúcido y compuesto por células angulares o irregulares. Las ascas (estructura que contiene las ascosporas, siendo un tipo de espora o estructura reproductiva) son fasciculadas (agrupadas en pequeños haces), densamente congregadas en el ascoma, con una forma cilíndrica y doblada, que contienen 8 ascosporas. Las ascosporas son unicelulares, de color marrón oliváceo cuando están maduras, lisas y fusiformes (con forma de huso, como los husos neuromusculares), con un poro germinativo subapical (Wang et al., 2019 a). Causa daños de tipo estéticos sobre la madera seca.

Hypoxylon e Hypomontagnella

Hypoxylon e Hypomontagnella son hongos pertenecientes a la familia Hypoxylaceae, orden Xylariales, filo Ascomycota (Wendt et al., 2018). Los miembros del género viven como saprófitos (organismos que viven y se alimentan de materia orgánica en descomposición) en madera de árboles de clima templado y principalmente tropical; o como endófitos (quizás en simbiosis mutualista) en los tejidos internos de plantas leñosas o herbáceas (San Martín et al., 1999). Causan daño estético sobre la madera seca. Estos hongos presentan un estroma bien desarrollado, carbonáceo, con varios peritecios. Presentan ostiolos que se encuentran rodeados por un área truncada. Las ascosporas son oscuras unicelulares o bicelulares asimétricas con una línea de germinación (Hsieh et al., 2005).

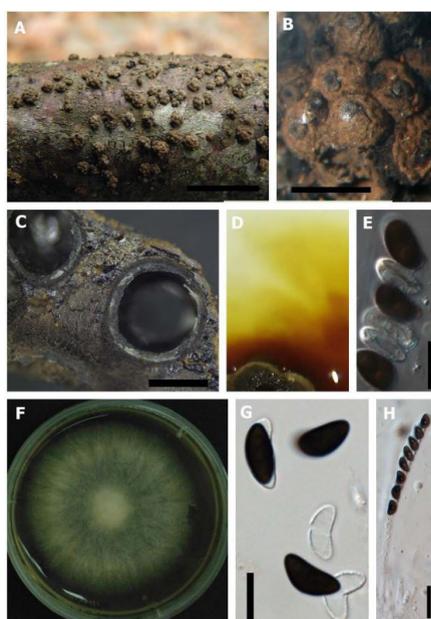


Figura 14. *Hypoxylon sporistriatunicum*. A. Estroma. B. Ostiolos. C. Peritecios. D. Pigmentos del estroma extraídos con KOH. E. Ascosporas. F. Cultivo. G. Perisporas dehiscentes. H. Ascas. Barras de escala: A = 1 cm, B = 1 mm, C = 0.2 mm, E = 10 μ m, G = 10 μ m, H = 20 μ m. Fuente: Cedeño-Sánchez et al. (2020).

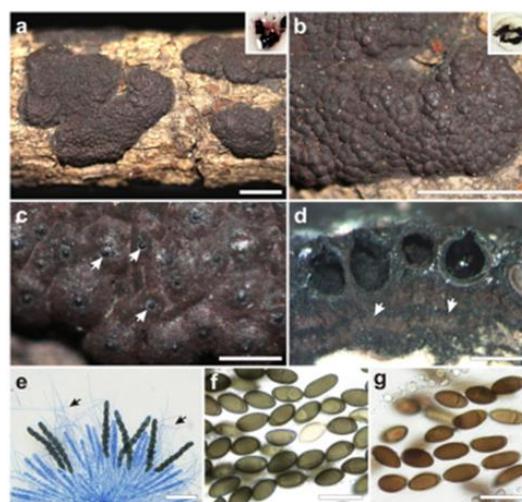
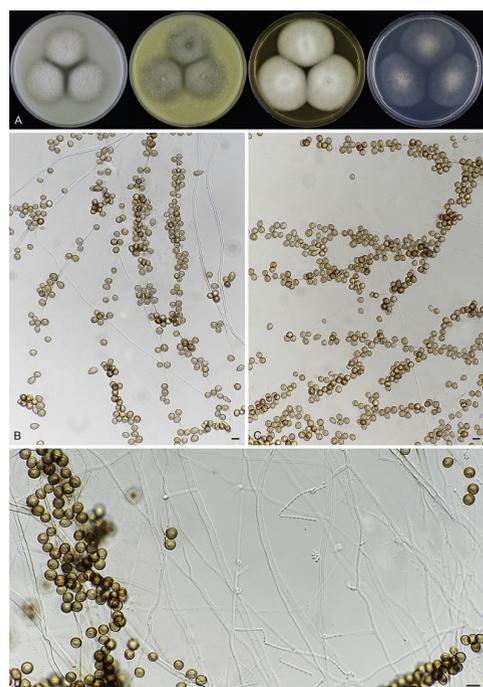


Figura 15. *Hypomontagnella barbarendis*. A-B. Estroma. C. Discos ostiolares (flechas). D. Peritecios y tejido subperitecual (flechas). E. Ascas. F-G. Ascosporas. Barras de escala: A-B = 5 mm; C-D = 0.5 mm; E = 50 μ m; F-G = 20 μ m. Fuente: Lambert et al. (2019).

Humicola



Humicola es un género de hongos de la familia Chaetomiaceae, orden Sordariales, filo Ascomycota (Wang et al., 2019 b). Las especies de este género se suelen encontrar en el compost, material vegetal en descomposición, el interior de las casas causando daño estético sobre la madera, el pelaje de los gatos y en el suelo. Estos hongos son de interés industrial dado que producen una gran variedad de enzimas que permiten descomponer materiales biológicos complejos, incluyendo aquellos que componen la pared celular de las plantas (Ibrahim et al., 2021). Producen conidios en las hifas de forma lateral, intercalar o terminal. Pueden presentar o no ascomas. Presentan vellos terminales filamentosos, sinuosos, ondulados, enrollados o arqueados. Las ascas presentan 8 ascosporas biseriadas o irregulares (Wang et al., 2019 b).

Figura 16. *Humicola floriformis*. A. Colonias. B-D. Hifas y conidios. D. Barras de escala = 10 μ m. Fuente: Wang et al. (2019 b).

Fusarium

Fusarium es un género de hongos filamentosos pertenecientes a la familia Hypocreaceae, filo Ascomycota (Schoch et al., 2020). Este género se encuentra distribuido en todo el mundo, con algunas especies restringidas a los trópicos mientras que otras habitan zonas templadas, desiertos, zonas árticas, entre otras. Los hongos de este género habitan principalmente en el suelo, además se consideran hongos oportunistas, es decir, aparecen en plantas o maderas ya afectadas por otros organismos. Bajo condiciones poco favorables estos hongos producen esclerocios, una masa organizada de hifas que permanece latente y germinan cuando las condiciones vuelven a ser favorables. Muchas especies se asocian frecuentemente con las raíces de las plantas, ya sea como parásitos o saprofitos. Estos hongos causan podredumbre blanda en la madera, un tipo de deterioro sufrido bajo condiciones de alta humedad y principalmente sobre maderas frondosas (Carbajo-García, 2015).

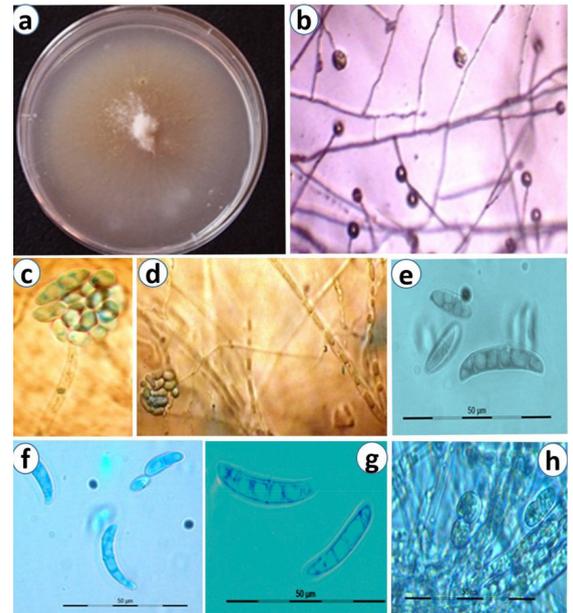


Figura 17. *Fusarium falciforme*. A. Colonia en cultivo. B. Filáides. C-D. Conidios. E-G. Microconidios y macroconidios. H. Clamidosporas. Fuente: Gangaraj et al. (2022).

Astrocystis

Astrocystis es un género de hongos pertenecientes a la familia Xylariaceae, orden Xylariales (Wu et al., 2021). Presentan una distribución pantropical, aunque también se ha encontrado en Francia, Japón y Reino Unido. Son hongos principalmente saprobios, es decir, que se alimentan de material muerto o en descomposición. Se alimentan de material proveniente de plantas monocotiledóneas, como pueden ser las palmas o el bambú (Smith y Hyde, 2001; Wu et al., 2021). Causa daño estético y pudrición sobre la madera. Se caracterizan por poseer un estroma (estructura somática compacta parecida a un cojín sobre la que se forman estructuras reproductoras) que usualmente sobresale de la epidermis de la planta huésped, o bien, se desarrollan por debajo de la cutícula con una apariencia superficial. La superficie del estroma puede ser lisa o puede estar dividida en lóbulos que forman patrón similar a una estrella. Presentan ascas cilíndricas (estructura que contiene las ascosporas, siendo un tipo de espora o estructura reproductiva) con un ápice redondeado y punteadas en el extremo opuesto. Las ascosporas pueden ser elipsoides o punteadas a los extremos, de color café y unicelulares al madurar (Smith y Hyde, 2001).

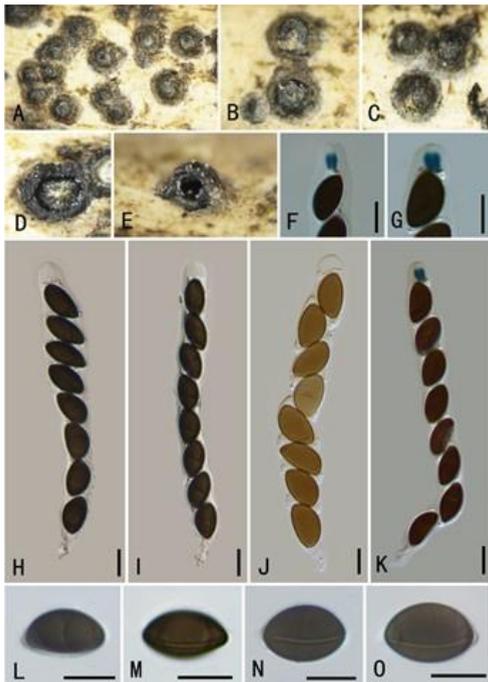


Figura 18. *Astrocystis bambusicola*. A-E. Estroma en un huesped. F-G. Aparato apical (tinción Melzer). H-K. Ascas con ascosporas. L-O. Ascosporas. Barras de escala: F – O = 10 μ m.

Fuente: Wu et al. (2021)

Lasiodiplodia

Este género se clasifica dentro de los Ascomycetos, en el orden de los Botryosphaerales, familia Botryosphaeriaceae. Son hongos cosmopolitas que se encuentran principalmente en regiones tropicales. Son capaces de provocar enfermedades en varios grupos de plantas, incluyendo monocotiledóneas, dicotiledóneas y gimnospermas. Pueden presentar una etapa de crecimiento saprófita (vive y se alimenta de materia orgánica en descomposición) o endófito (vive dentro de su hospedero, normalmente una planta) en tejido sano, con la posibilidad de entrar a una fase patogénica si el hospedero se debilita, por lo que se les considera patógenos latentes. También se les considera hongos patógenos oportunistas en humanos. La principal característica que distingue al género *Lasiodiplodia* de otros géneros cercanos es la presencia de conidios de forma ovalada, generalmente hialinos y sin septo o ningún tipo de separación, pero que con el tiempo se pigmentan y se observa la formación de un septo (Guzmán-Páez, 2020). Algunas especies son capaces de provocar manchas azules en la madera que no afectan las propiedades mecánicas de la madera (Mohali et al., 2017).

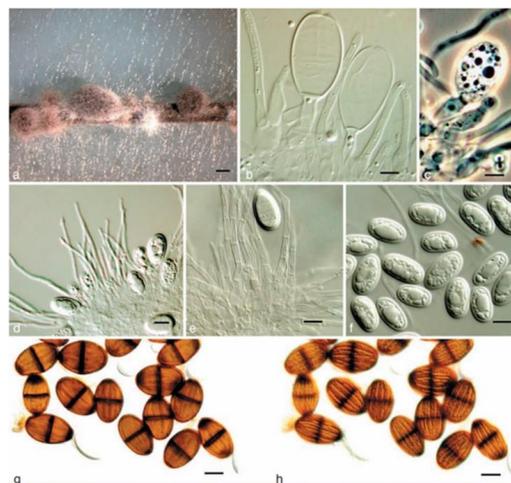


Figura 19. *Lasiodiplodia citricola*. A. Conidiomas en agujas de pino. B. Conidios en desarrollo. C. Anelaciones. D-E. Paráfisis. F. Conidios inmaduros. G-H. Conidios maduros. Barras de escala: A = 1 000 μm ; B-C = 5 μm ; D-H = 10 μm . Fuente: Abdollahzadeh, et al. (2010).

Penicillium

Penicillium es un género de hongos perteneciente al filo Ascomycota, la familia Aspergillaceae y el orden Eurotiales. Varias especies de este género se emplean en la industria alimenticia y farmacéutica. Este género es conocido por la capacidad de algunos de sus miembros de producir el antibiótico penicilina. Este género presenta una distribución cosmopolita. Es uno de los grupos de hongos más comunes, encontrándose en una gran variedad de hábitats; incluyendo el suelo, el aire, ambientes con condiciones extremas de temperatura, salinidad, pH y sequedad. En la naturaleza, se encarga principalmente de descomponer la materia orgánica, llegando a ser algunas veces un patógeno de los cultivos. Asimismo, algunas especies de este género son capaces de producir micotoxinas (Yadav et al., 2018). Hongos de este género son capaces de causar podredumbre blanda en la madera, principalmente en maderas frondosas (Hamed, 2013).

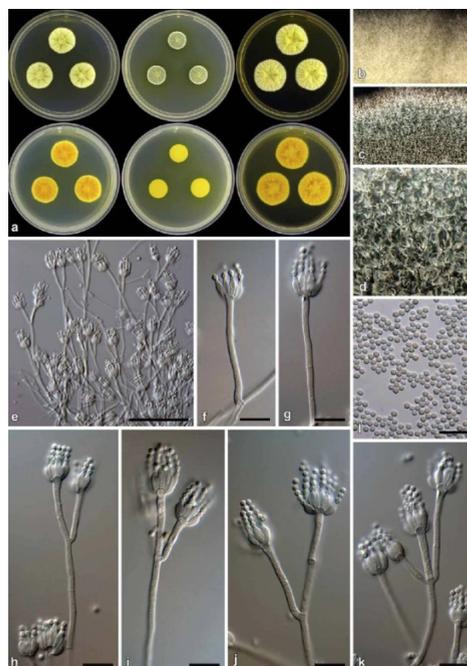


Figura 20. *Penicillium citreosulfuratum*. a. Colonias. B-D. Textura de las colonias. E-K. Conidióforos. L. Conidios. Barras de escala: E = 50 μm , F-L = 10 μm . Fuente: (Visagie et al., 2016).

Control de agentes de biodeterioro

Para la elaboración de la guía de tratamientos se recurrió a un proceso de investigación cualitativa basado primeramente en entrevistas con informantes clave y expertos. Estas entrevistas tuvieron como fin identificar tratamientos que se han utilizado en el país, y en específico en la ciudad de Limón, para la conservación de la madera.

La primera ronda de entrevistas se realizó a informantes clave de la comunidad limonense con conocimiento de la arquitectura caribeña costarricense, tanto desde un punto de vista técnico como tradicional. Para estas, se utilizó la técnica de la entrevista semiestructurada y se elaboró un guión estructurado en tres secciones (tabla 2).

Tabla 2. Características de la arquitectura caribeña costarricense de la ciudad de Limón

Objetivo: Identificar técnicas tradicionales implementadas en la arquitectura caribeña para la conservación de inmuebles.

Información general:

- Lugar / Fecha:
- Nombre del informante:
- Profesión / Ocupación:

Relación con arquitectura caribeña:

- ¿Qué conoce usted de la Arquitectura Caribeña Costarricense? ¿Cuáles características reconoce usted que integran este tipo de arquitectura? (arquitectónico, urbano, social).
- ¿Ha tenido algún vínculo con este tipo de arquitectura (ha vivido, ha construido, ha reparado, otro)?

Tratamientos para la conservación de la arquitectura caribeña:

- ¿Conoce alguna técnica popular/tradicional para proteger estas edificaciones? Y específicamente, en relación a la madera? Descríbala/as:
- ¿En dicha/as técnicas se emplea el uso de algún material? (dónde se consigue, requiere una preparación previa a la aplicación).
- ¿Cómo se emplea? (cómo se aplica, qué instrumentos o herramientas se necesitan, cuánto tiempo toma aplicarlo, cuánto tiempo dura el efecto de la técnica, requiere nuevas aplicaciones, cada cuánto, en qué etapa de la obra se aplica, se le puede dar mantenimiento?).
- ¿Cuál es el resultado? (¿para qué sirve esta técnica?, ¿cuál es el efecto en la madera?).

Uso de la madera en Limón:

- ¿Por qué considera que ha disminuido el uso de la construcción en madera en Limón?

En total se entrevistaron a 4 informantes claves (tabla 3), las entrevistas se realizaron en diciembre del año 2021.

Tabla 3. Informantes de la comunidad de Limón

Nombre	Profesión	Institución u organización
Tamara Amaya	Arquitecta	Profesional independiente
Axel Alvarado Luna	Historiador	Universidad de Costa Rica
John Clayton	Maestro de Obras	Trabajador independiente
Abraham Goldwewich	Biólogo. Empresario y gestor cultural ligado al patrimonio limonense	Pasaje Cristal

La segunda ronda de entrevistas se realizó a expertos vinculados con el estudio de la madera y de los agentes de biodeterioro, la construcción y la conservación. En ese caso también se implementaron entrevistas semiestructuradas a partir de una guía base (tabla 4) dividida en cinco secciones.

Tabla 4. Guía de entrevistas semiestructurada a expertos

Objetivo de la entrevista: Documentar aspectos relacionados al uso y tratamiento de la madera como material de construcción para la conservación de inmuebles.

Información general:

- Nombre:
- Fecha:
- Profesión:
- Entrevistador:
- Medio:
- Fecha y hora:

Relación con el tema:

- ¿Cuál es su experiencia trabajando en edificaciones de madera? ¿En qué sitios se ubican los proyectos donde ha trabajado?
- ¿Con cuáles maderas ha trabajado? ¿Cuál sería la más frecuente?

Lesiones y agentes:

- ¿Cuáles son las principales lesiones (estructurales o estéticas) asociadas a la madera que ha detectado en las edificaciones que ha trabajado como parte de su labor profesional?
- ¿Dónde se localizan con mayor frecuencia estas lesiones?
- ¿Qué tipo de agentes de biodeterioro (insectos, hongos) ha encontrado?
- ¿Qué tipo de madera es más vulnerable a la presencia de lesiones?

Tratamientos:

- ¿Qué tratamientos comerciales presentes en el mercado nacional o internacional ha utilizado? Repetir según cada tratamiento mencionado: ¿Qué beneficios o problemas ha encontrado? ¿Presenta alguna restricción para su uso? ¿Con qué frecuencia se deben aplicar? ¿En dónde adquirió este conocimiento? ¿Es un tratamiento preventivo o correctivo?
- ¿Qué tratamientos tradicionales / naturales ha utilizado? Repetir según cada tratamiento mencionado: ¿Qué beneficios o problemas ha encontrado? ¿Presenta alguna restricción para su uso? ¿Con qué frecuencia se deben aplicar? ¿En dónde adquirió este conocimiento? ¿Es un tratamiento preventivo o correctivo?
- ¿Ha detectado algún efecto secundario con el uso de estos tratamientos?
- ¿Conoce algún otro tratamiento que no haya utilizado pero del cual tenga referencia?

Contexto de la construcción en madera:

- ¿Cuáles ventajas o desventajas posee la madera como material constructivo en nuestro contexto?
- ¿Considera que la madera es un material de uso frecuente en la construcción en Costa Rica? ¿Por qué?
- ¿Posee algún material o referencia que pueda compartir en relación a los temas abordados?

En total se seleccionaron 14 expertos para participar en el proceso (tabla 5). Las entrevistas se realizaron en marzo de 2022.

Tabla 5. Expertos entrevistados

Nombre	Profesión	Institución u organización
Ileana Vives Luque	Especialista en conservación	Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural
Alexander Berrocal Jiménez	Ingeniero Forestal	Escuela de Ingeniería Forestal TEC
María Bernadette Esquivel Morales	Especialista en conservación	Profesional independiente
David Cubero Fernández	Estudiante de arquitectura UCR (en TFG) / Ebanista	Trabajador independiente
Diego Camacho Cornejo	Ingeniero Forestal	Escuela de Ingeniería Forestal TEC
Gabriela Jiménez	Arquitecta / Especialista en conservación	Profesional independiente
Héctor Gómez Garita	Ingeniero industrial	Empresa Pinotek
Isabel Carpio Malavassi	Bióloga (Botánica)	Pensionada, Universidad de Costa Rica
Juan Tuk	Ingeniero Forestal	Pensionado TEC /Empresario
Max Chavarría Vargas	Químico. Doctor en Biología Molecular	Universidad de Costa Rica
Ronald Quesada Chaves	Especialista en conservación	Arquitecto del Museo Nacional de Costa Rica

Nombre	Profesión	Institución u organización
Teodoro Symes	Arquitecto	Profesional independiente
Viviana Paniagua	Arquitecta	Universidad de Costa Rica
William Monge	Especialista en conservación	Ex jefe del departamento de restauración del Teatro Nacional

A partir de la información suministrada por los informantes se llevó a cabo un proceso de identificación de buenas prácticas y tratamientos para la conservación de la madera. Estos últimos fueron clasificados en dos categorías: empíricos e industriales.

Para este trabajo se entienden como tratamientos empíricos aquellos relacionados al conocimiento tradicional y técnicas artesanales que se han utilizado tanto en la comunidad limonense como en otros lugares del país para tratar y proteger la madera. Son tratamientos basados tanto en el uso de sustancias naturales como en algunos productos químicos comerciales que normalmente son utilizados con otros fines. Estos tratamientos a pesar de ser reconocidos como efectivos por los informantes, carecen de estudios rigurosos dirigidos a comprobar su efectividad. En total se identificaron 13 tratamientos industriales y empíricos.

Los tratamientos industriales se entienden como aquellos productos resultado de un proceso industrial que en la actualidad se comercializan para tratar o conservar la madera. Son productos que los expertos identificaron como parte de la oferta local o internacional y que están asociados a casas comerciales, han pasado por estudios de laboratorio y/o pruebas para valorar su efectividad. En total se identificaron 20 de estos tratamientos.

Posteriormente, se realizó un proceso de revisión documental de cada uno de los productos identificados, por lo que se recurrió a libros, artículos científicos, manuales técnicos y especificaciones. Se elaboraron fichas técnicas de cada tratamiento a partir de la información obtenida.

En el caso de los tratamientos empíricos, debido a las pocas referencias documentales existentes, se decidió seleccionar algunos para realizar ensayos en laboratorio y en sitio con el fin de comprobar su efectividad en la madera. En la presente guía se describen dichos tratamientos; sin embargo, no se profundiza en los resultados de los ensayos antes mencionados.

Se incluyen además algunas buenas prácticas que fueron mencionadas en las entrevistas y que constituyen acciones que pueden contribuir a la conservación de la madera. Adicional a los tratamientos identificados por medio de las entrevistas, se seleccionaron algunas estrategias pasivas que previamente fueron identificadas como parte de las características de la arquitectura caribeña costarricense. Estas se incorporan en la guía debido a que se trata de elementos que pueden ayudar a reducir o minimizar las condiciones de reproducción de los agentes de biodeterioro de las edificaciones.

5.1 Industriales

5.1.1. Pentaclorofenol

Descripción:

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos el Pentaclorofenol es una sustancia química sintética, cuya constitución pura tiene forma de cristal, incoloro o de color blanco. Si esta sustancia se encuentra en un estado impuro (por ejemplo si se encuentra en desechos peligrosos) su forma suele ser de polvo, escamas o gránulo, mientras que su color normalmente suele ser café o gris oscuro.

El “penta” como también se le llama de forma común, es una sustancia compuesta por fenoles, derivados bencénicos, hidrocarburos y solventes orgánicos. Según el Manual de Plaguicidas de Centroamérica de la Universidad Nacional (<http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/>) uno de sus principales usos del Pentaclorofenol es la preservación de la madera a través del control de termitas, hongos y barrenadores. Anteriormente, esta sustancia química se usaba ampliamente como pesticida y como preservante de madera.

Por su alta toxicidad esta sustancia fue prohibida en el país en 1999 a través del Decreto N° 27773-MAG-S-TSS. El pentaclorofenol se encuentra en la Lista de Productos prohibidos en Costa Rica al 01/09/2022 según el Servicio Fitosanitario de Costa Rica.

Forma de aplicación:

Según Castillo y Bárcenas (1998) el pentaclorofenol se puede aplicar de dos formas, la primera por método con presión en el cual se utilizan autoclaves donde se introducen las piezas de madera y se les aplica la sustancia, primero al vacío y después a presión. El segundo método consiste en la aspersion, la inmersión o el uso de brocha para impregnar la sustancia.

Debido a que se trata de un producto altamente inflamable, y que puede desprender gases tóxicos, debe procurarse que la aplicación se realice en espacios ventilados y que no existan fuentes de ignición cercanas. Se recomienda el uso de guantes y mascarilla para su aplicación.

Beneficios:

Alta efectividad como biocida y preservante de maderas; no obstante su uso está restringido a maderas que no estén en contacto directo con seres humanos.

Restricciones de uso:

Debido a su alta toxicidad este producto se reserva sólo para el tratamiento de maderas que no estén en contacto con el ser humano, por ejemplo postes, cercas o durmientes. En Costa Rica es un producto prohibido.

Posibles riesgos:

Es un producto que puede provocar toxicidad aguda o crónica en el ser humano por inhalación, en contacto con la piel y por ingestión. Se le reconoce como un producto carcinogénico, teratogénico y fetotóxico.

Según el Manual de Plaguicidas de Centroamérica de la Universidad Nacional el Pentaclorofenol se considera como una sustancia muy resistente en el ambiente, cuya absorción en el suelo depende del pH (a mayor pH mayor absorción); en tanto que en el agua se considera con solubilidad alta a moderada, siendo un producto de alta toxicidad para la vida acuática.

Productos similares:

En Costa Rica se comercializa el producto Penta de la marca Xilo, el cual en su composición presenta los siguientes componentes Creosota 0.1-10 8001-58-9 Naftenato de cobre 0.1-1 1338-02-9 Espiritu mineral 40-55 8052-41-3 Diesel 40-55 68334-30-5 Cipermetrina.

En las instrucciones de uso del producto (Xilo, s.f) se indica que para la aplicación la madera debe estar seca a menos del 30% del contenido de humedad, sin acabados, y sin presencia de polvo, grasa u otros productos. Si la aplicación se realiza mediante brocha, deben aplicarse dos manos al producto, con al menos seis horas de diferencia; mientras que si se realiza por inmersión deben dejarse lapsos de dos horas. En ambos casos debe dejarse secar.

5.1.2. Creosota carbón**Descripción:**

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos, creosota es el nombre que se utiliza para varios productos generados por la mezcla de muchas sustancias químicas. Se incluyen entre estos: la creosota de madera, creosota de alquitrán de hulla, el alquitrán de hulla, el residuo de alquitrán de hulla y volátiles del residuo de alquitrán de hulla (Espadale y Berenguer, s.f).

La más común es la creosota de alquitrán de hulla, utilizada para la preservación de la madera, dadas sus propiedades como biocida y plaguicida, que permiten el control de insectos, hongos y bacterias. Se considera que esta sustancia contribuye a aumentar la durabilidad de la madera.

La creosota de alquitrán de hulla está compuesta de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), fenol y los cresoles (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos, s.f). Esta sustancia se caracteriza por un aspecto de líquido aceitoso poco diluible en agua de coloración que varía entre el amarillo oscuro y el negro, con olor descrito como similar al humo, la gasolina o el aceite (Comisión de Calidad Ambiental de Texas, s.f).

Forma de aplicación:

Para proteger la madera se utiliza un proceso llamado creosotado que consiste en impregnar la madera a través de la aplicación de la sustancia en caliente o frío. La forma común de realizar el creosotado es mediante el uso de un autoclave.

Beneficios:

Alta efectividad como biocida y preservante de maderas; no obstante su uso está restringido a maderas que no estén en contacto directo con seres humanos.

Restricciones de uso:

El uso de la creosota es restringido, pues debido a su toxicidad solo debe utilizarse en maderas que no estén en contacto directo con personas ni animales. Es utilizado principalmente en durmientes, puentes, postes y cercas de vallas.

Posibles riesgos:

La creosota es un material altamente infamable, además se considera como una sustancia tóxica, que puede ser peligrosa para la salud humana en caso de exposición en altos niveles o en períodos prolongados. Sin embargo, la exposición breve puede causar otros efectos en la piel y ojos como irritación, sarpullidos y quemaduras, así como problemas de riñón e hígado.

5.1.3. Larotek Plus

Descripción:

Es un producto de la casa comercial Grupo Sur diseñado bajo la línea TekWood la cual se especializa en el acabado y protección de la madera. Tek Wood se complementa con otros productos como Laro Tek Glaze Plus (tinte-acabado al solvente para madera), Laro Tek impregnante al agua (es un impregnante base agua que no forma una película superficial sobre la madera, ecoamigable), Laro Sur Transparente (semi -impregnante transparente base solvente con biocidas que inhiben el crecimiento de hongos e insectos) y Claro Sur Color (semi -impregnante de color base solvente con biocidas que inhiben el crecimiento de hongos e insectos).

Según la información técnica disponible en la página web de Grupo Sur, Laro Tek Plus funciona como un impregnante al solvente. Está compuesto principalmente por aceites naturales modificados y se utiliza para la protección de la madera para interiores y exteriores. Adicionalmente, el producto, al contener filtros para la absorción de radiación ultravioleta, brinda mayor durabilidad y protección a la madera.

Dentro de las recomendaciones del fabricante, se indica que para una mayor protección contra hongos e insectos es recomendable antes de usar Laro Tek Plus, aplicar previamente Preserwood 504-00995-900. Según la información técnica de Sur, este último es un producto preservante que funciona como insecticida y previene los ataques por hongos o insectos (especialmente termitas), pero su uso se limita a maderas que no hayan sido previamente infestadas. Preserwood 504-00995-900 es un preservante monocomponente, sin color, que no genera manchas en la madera.

Forma de aplicación:

Este producto se aplica directamente sobre madera nueva o madera vieja en posición vertical, requiere lijarse previo a la aplicación. Permite aplicaciones de capas sucesivas del mismo producto, sin tener que lijar nuevamente. No se recomienda repintar con barnices.

Para su aplicación se recomienda que la humedad de la madera no supere el 16% y previamente se debe eliminar restos de grasa, suciedad o cualquier contaminante para asegurar la adherencia del producto. En caso de que se aplique sobre una madera previamente pintada es recomendable que se lije la superficie antes de la aplicación.

Beneficios:

Según el fabricante, el producto brinda alta resistencia a los hongos, además es muy efectivo para repeler insectos xilófagos. Adicionalmente, el producto contiene filtros que absorben la radiación ultravioleta, mejorando la durabilidad de la madera, brindándole mayor protección.

Restricciones de uso:

No existen restricciones para su uso; sin embargo, el fabricante en la información técnica del producto indica que este no debe utilizarse en superficies calientes o expuestas directamente al sol para no perjudicar su adherencia. Además, se indica que el Laro Tek Plus no debe aplicarse cuando la humedad relativa sea mayor a 85% o haya condiciones lluviosas pues también se podrían alterar las características o el desempeño del producto.

Posibles riesgos:

Entre los posibles riesgos se encuentra la intoxicación por inhalación de vapores, lesiones cutáneas por contacto directo con la piel. Se recomienda aplicarlo en sitios ventilados, además el personal que lo utilice debe contar con equipo de protección como traje completo, guantes, anteojos de seguridad, botas, máscara con filtro para vapores orgánicos, etc.

Este producto es inflamable, por lo que se recomienda no utilizarlo cerca de fuentes de ignición.

5.1.4. Sales de boro

Descripción:

Para la preservación de la madera uno de los tratamientos que ha mostrado mayor efectividad y aceptación son las sales de boro, estas se componen de una combinación de ácido bórico (H_3BO_4) y borato de sodio [Bórax] ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) (Moya, Gaitán y Berrocal, 2021). Este tratamiento se caracteriza por ser inodoro, incoloro, incombustible, de baja toxicidad para mamíferos, pero con gran eficacia para la protección de la madera respecto a hongos e insectos.

El tratamiento de sales de boro se considera como un agente protector con un amplio espectro en su acción fungicida e insecticida. En el caso de los hongos las sales de boro generan un ambiente poco propicio para propagación su estos debido a la alcalinidad; en cuanto a los insectos, especialmente las termitas, el control se procede por medio de la ingesta de las sales, que provoca la deshidratación del sistema digestivo del individuo y paulatinamente los insectos dejan de comer la madera (Pedrosa, sf).

Es una buena alternativa para tratar especies de madera resistentes a preservantes a base de cobre y zinc (Sotomayor-Castellanos, Villaseñor Aguilar, 2016). Según la ficha técnica de las sales de boro de la marca Ecoltravioleta, el producto es muy soluble en agua y tiene alta alcalinidad.

Forma de aplicación:

Las sales se diluyen en agua caliente y se revuelve para generar una mezcla homogénea. Posteriormente, se puede aplicar el tratamiento en la madera por medio de varios métodos como la inmersión, la brocha, la pistola o el rodillo. Luego se deja reposar el material para asegurar su difusión. Una vez que la madera está seca pueden aplicarse otro tipo de protectores de madera.

Beneficios:

Su aplicación ha demostrado efectividad en la prevención de ataque de insectos xilófagos y como medida preventiva para evitar la propagación del fuego. Es un tratamiento de baja toxicidad para mamíferos, además no se le considera un tratamiento cuyo residuos sean peligrosos para el ambiente.

Restricciones de uso:

No se recomienda su uso en condiciones en las que la madera pueda humedecerse o cuando se utilice en contacto directo con el suelo, debido que esto puede provocar la lixiviación del boro, o sea que las sales se disuelven en el agua (Rojas, 2022).

Posibles riesgos:

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos (s.f) las sales de boro se consideran un tratamiento de baja toxicidad; sin embargo, la exposición a grandes cantidades de boro puede afectar el estómago, los intestinos, el hígado, el riñón y el cerebro y eventualmente puede causar la muerte.

5.1.5. Xilobor

Descripción:

Producto comercial a base de óxidos metálicos cuya función es de tipo preservante. Es una sustancia líquida e incolora que se utiliza para maderas de interior o a cubierto tales como artesonados, forros interiores, cerchas, emplantillados o pisos. Puede aplicarse sobre todo tipo de maderas, bambú y fibras vegetales. Además posee un efecto protector contra las termitas.

Se encuentra disponible en dos presentaciones:

- Xilobor para uso doméstico (envases de 1L, 3.8L, 19L y 208L). Se emplea sin necesidad de diluir el producto.
- Xilobor concentrado 1X4 o de uso industrial (envases de 3.8L, 19L y 208L). Para su uso debe prepararse guardando una relación 1:4, es decir, 1 parte de producto con 4 partes de agua.

Composición: El componente principal es el boro (49%), además contiene cromo y flúor.

Forma de aplicación:

Si se trata de madera nueva puede aplicarse mediante un proceso de impregnación en autoclave, por difusión, como baño caliente o frío, o mediante tina de inmersión si lo permite el tamaño de las piezas. Si se elige este último proceso, la casa fabricante recomienda que las piezas se sumergen entre 5 y 15 minutos.

En caso de maderas existentes es necesario remover cualquier tipo de recubrimiento o acabado que presente la pieza, previo a la aplicación del producto. Además, es recomendable que se contemple el uso de un insecticida de tipo piretroide. La aplicación puede realizarse tanto por aspersión o con brocha. En ambos casos se recomiendan mínimo dos aplicaciones y una relación de 3.8L en 25m².

Beneficios:

Es un producto que no requiere equipo altamente especializado para su aplicación. Puede usarse en estructuras existentes y en madera con algún grado de afectación por insectos.

Restricciones de uso:

El producto es tóxico para la vida acuática por lo que no se debe emplear en estructuras que se encuentren sumergidas o en contacto con el agua. En caso de estructuras existentes, requiere que estas estén desocupadas de personas y mascotas para su aplicación en sitio.

Posibles riesgos:

Su inhalación puede producir daños en la membrana mucosa y tracto respiratorio superior. Puede causar edema pulmonar. Si se aplica en espacios reducidos se debe emplear equipo de respiración autónomo. No es biodegradable, por lo que si se libera en el suelo existe riesgo de que la filtración contamine aguas subterráneas.

5.1.6. Xilocromo

Descripción:

Es un preservante elaborado a base de óxidos metálicos que se emplea para madera de interior y exterior. Puede aplicarse en estructuras enterradas, bajo techo, espacios exteriores e incluso en ambientes marinos y en cualquier tipo de madera, bambú o fibras vegetales. Protege contra agentes biológicos como insectos xilófagos, pudrición y mancha azul. También ofrece protección contra la acción de los rayos solares.

En el sector industrial se utiliza como antimancha durante el secado y para el tratamiento de postes y puntales. En el sector construcción se ha empleado también como desmoldante de formaleta de madera.

Se encuentra disponible en dos presentaciones:

- Xilocromo para uso doméstico (envases de 1L, 3.8L, 19L y 208L). Se emplea sin necesidad de diluir el producto.
- Xilocromo superconcentrado o de uso industrial (envases de 3.8L, 19L y 208L). Para su uso debe prepararse guardando una relación 1:10, es decir, 1 parte de producto con 10 partes de agua.

Composición: Tiene dos componentes principales, el cobre (25%) y el cromo (22%), además contiene boro y flúor.

Forma de aplicación:

En caso de madera nueva puede aplicarse mediante un proceso de impregnación en autoclave, por difusión, como baño caliente o frío. En caso de que lo permita el tamaño de las piezas, también puede aplicarse mediante tina de inmersión, en cuyo caso, la casa fabricante recomienda un tiempo de inmersión de entre 10 y 30 minutos.

Para maderas existentes la aplicación puede realizarse tanto por aspersión o con brocha. En ambos casos se recomiendan mínimo dos aplicaciones y una relación de 3.8L en 40m².

Para maderas enterradas o en ambiente marino se recomienda su aplicación únicamente empleando el método de vacío-presión por autoclave.

Beneficios:

Puede usarse en estructuras existentes y en cualquier tipo de condición (interna o externa). Es soluble en agua.

Restricciones de uso:

Este producto cambia el color de la madera. Durante los primeros minutos de aplicación da una coloración amarillo pardo. En caso de que se utilice sobre maderas claras la tonalidad resultante es verde oliva. Para maderas oscuras el color puede variar dependiendo de la especie entre tonalidades de café oscuro.

En caso de estructuras existentes, requiere que estas estén desocupadas de personas y mascotas para su aplicación en sitio.

Posibles riesgos:

Su inhalación puede producir daños en la membrana mucosa y tracto respiratorio superior. Puede causar edema pulmonar. Si se aplica en espacios reducidos se debe emplear equipo de respiración autónomo.

5.1.7. Xilotox 4

Descripción:

Es un producto insecticida organofosforado que se utiliza para eliminar plagas de insectos que atacan la madera tales como termitas, comején o barrenillos. Se emplea como tratamiento de preparación de la madera, previo a la aplicación de productos preventivos.

Composición: Clorpirifós, xileno como solvente y emulsionantes.

Forma de aplicación:

Se diluye junto a un producto de tratamiento preventivo. La casa fabricante recomienda la combinación de 100 mililitros de Xilotox-4 en un galón de Xilobor para como tratamiento preventivo. En caso de que se requiera como método para eliminar agentes la dilución se realiza en razón de 100 mililitros en un galón de agua. La mezcla se agita y se recomienda su aplicación dentro de las siguientes 4 horas posteriores a la preparación del producto.

Beneficios:

Indicado en casos de maderas con afectación por agentes biológicos y como tratamiento preventivo.

Restricciones de uso:

Es un producto altamente tóxico. Se recomienda su aplicación utilizando equipo de protección de ojos, piel y vías respiratorias. Representa un peligro para los animales domésticos, por lo que en caso de inmuebles existentes, deben estar desocupados. Se debe evitar cualquier contacto directo con el producto.

Posibles riesgos:

Puede causar irritación de las vías respiratorias y depresión del sistema nervioso central como problemas de concentración, dolores de cabeza, vértigo, mareos, somnolencia y dificultades en la coordinación.

5.1.8. Wood Zin

Descripción:

Este tratamiento es un preservante de madera a base de naftenato de zinc, el cual es el resultado de combinar ácidos naftenicos y sales de zinc. Ese producto es casi incoloro y presenta menos toxicidad que compuestos similares como el naftenato de cobre.

Producto preservante y repelente de agua, recomendado para maderas en todo tipo de condiciones (interiores o exteriores). Protege contra termitas, moho, hongos y alteraciones cromáticas (manchas).

Se encuentra disponible en dos presentaciones:

- Wood Zin de 1 galón.
- Wood Zin de ¼ de galón.

Posee un rendimiento de entre 10 y 30 m² por galón y su tiempo de secado es de 4 horas.

Composición: Formulado a base de naftenato de zinc y solvente stoddard.

Forma de aplicación:

Se recomienda su aplicación directa sobre la madera, no requiere dilución. En caso de ser necesario la casa fabricante recomienda combinarlo con varsol en cantidades inferiores al 10%.

Beneficios:

Indicado en casos de maderas con afectación por agentes biológicos y como tratamiento preventivo. Es incoloro y permite la aplicación de acabados posterior al secado del producto. Apto para utilizarse sobre cualquier tipo de madera.

Restricciones de uso:

No presenta restricciones de uso.

Posibles riesgos:

Según la ficha de datos de seguridad del producto, este puede ser tóxico para organismos acuáticos, debido a la peligrosidad del producto para el medio ambiente se recomienda manipularlo dentro de un área que disponga de barreras de control de la contaminación en caso de vertido, así como disponer de material absorbente en las proximidades del mismo.

En seres humanos puede provocar intoxicación en caso de ingestión o inhalación, además de irritación cutánea. Además es un producto inflamable.

Se recomienda su uso en espacios ventilados y alejado de fuentes de ignición. Para su aplicación es aconsejable que se utilice equipo de seguridad como guantes, anteojos.

5.1.9. Duranza

Descripción:

Este producto es una resina con base de aceite diseñada para proteger madera nueva o existente contra lesiones ocasionadas por humedad y la acción directa de los rayos ultravioleta. Provee un acabado resistente al agrietamiento y a la descamación. Es apto para utilizarse en pisos de madera de alto tránsito.

Se encuentra disponible en dos presentaciones:

- Duranza DU-1680 de 1 galón.
- Duranza DU-1680 de un ¼ de galón.

El tiempo de secado es de 4 horas y de 12 horas en caso de reaplicación.

Composición: Formulado a base de nafta disolvente (25-40%), destilados (petróleo) (10-25%), metoxietoxi etanol y sal de circonio (1%)

Forma de aplicación:

Toda la superficie debe estar seca, limpia, sana y libre de contaminantes (suciedad, grasa, moho, aceite, entre otros). No se recomienda la dilución del producto.

En caso de maderas existentes es necesario remover todos los acabados (pintura, barniz, entre otros, por medio de lija en dirección al grano de la madera y posteriormente, aplicar removedor. Si las superficies poseen un acabado brillante se deben lijar ligeramente antes de colocar el producto. En caso de presentarse agujeros en las piezas, se recomienda su resane, lijado y aspirado previo a la aplicación del producto.

Para madera nueva como medida de preparación, se recomienda pasar una lija fina sobre la superficie en dirección al grano de la madera hasta que ésta quede lisa.

El producto se puede aplicar con brocha de cerdas naturales o rodillo. También es factible la aplicación con pistola convencional a 35-40 psi o con pistola sin aire.

Beneficios:

Indicado en casos de maderas con afectación por agentes biológicos y como tratamiento preventivo. Es incoloro y permite la aplicación de acabados posterior al secado del producto. Es apto para utilizarse sobre cualquier tipo de madera.

Restricciones de uso:

Se recomienda su aplicación utilizando equipo de protección básico de ojos, piel y vías respiratorias. El lugar debe contar con ventilación adecuada durante la manipulación del producto y durante los ciclos de secado. Para una aplicación óptima, se debe asegurar buenas condiciones climatológicas (sin riesgo de lluvia). El material debe de estar entre 21°C y 38°C antes de mezclarlo y colocarlo.

Posibles riesgos:

Es un producto combustible por lo que debe mantenerse alejado de fuentes de calor y del fuego. Se recomienda evitar el contacto prolongado con la piel, así como respirar los vapores.

5.1.10. Sherwood

Descripción:

Es un preservante para madera de uso exterior e interior a base agua, que elimina y protege del comején e insectos que atacan la madera y aglomerados. Además, se utiliza como mecanismo de prevención ante hongos y como repelente de insectos. Su uso, se recomienda especialmente como sellador de madera en trabajos de carpintería como muebles, ventanas, puertas o similares.

Composición: Carbonato de calcio y amoníaco.

Forma de aplicación:

Las superficies nuevas deben estar secas y limpias, libres de polvo, grasa o esmaltes. Se recomienda lijar previamente con lija fina. Agitar el producto antes y eventualmente durante la aplicación con cuidado de evitar la formación de burbujas. Puede aplicarse con brocha o rodillo, para lo cual se debe reducir el 5 o 10% con agua. En caso de aplicar con pistola asistida por aire, es necesario reducir entre 40 y 50% con agua. Requiere un tiempo de secado de 2 horas. Antes de recibir el acabado final, el fabricante recomienda la aplicación de lija #220-320 en el sentido de las fibras de la madera.

Beneficios:

Tiene acabado transparente. Una vez aplicado el producto las piezas de madera pueden entintarse o pintarse. Puede utilizarse en interior o exterior, no posee efecto residual. Además de tratamiento preventivo, puede aplicarse sobre madera con evidencias de ataque de agentes biológicos. Apto para madera nueva o existente y aglomerados.

Restricciones de uso:

Se requiere del empleo de equipo de protección al momento de aplicarse. La madera debe estar libre de grasa, esmaltes o cualquier tipo de suciedad para que su aplicación sea efectiva. Emplear en lugares ventilados.

Posibles riesgos:

Puede causar irritación en vías respiratorias. Se recomienda evitar el contacto con la piel y los ojos.

5.1.11. Condifor

Descripción:

Es un insecticida sistémico que pertenece a la familia de los neonicotinoides, es decir, atacan el sistema nervioso central de los insectos y las plagas del suelo, eliminándolos por agotamiento. Tiene una presentación de gránulos y tiene las siguientes presentaciones disponibles: 13, 52, 85, 250 gramos y 20 kilogramos.

Composición: Imidacloprid en razón de 700 gramos por cada kilo.

Forma de aplicación:

Se aplica sobre el terreno, ya sea por medio de equipo de aspersión o bien por sistema de goteo. El producto se disuelve con agua cuidando que el pH del agua se mantenga entre 6.5 y 8. Se agita y se procede con la aplicación. La dosificación varía de acuerdo a la plaga, sin embargo se recomienda no aplicar cantidades mayores a 0.80 litros por hectárea de terreno.

Beneficios:

Posee efecto residual prolongado. Resulta muy efectivo para combatir plagas de moscas e insectos hemípteros. No es un tratamiento invasivo para las edificaciones, por lo que no altera su apariencia.

Restricciones de uso:

Requiere de uso de equipo de protección básico de ojos, piel y vías respiratorias. Se aplica únicamente sobre el terreno. No está formulado para utilizarse directamente sobre materiales como la madera. Debido a su toxicidad requiere que la zona a intervenir esté libre de animales y personas. Su uso ha sido restringido en países europeos debido a que es tóxico para las abejas. Se recomienda no utilizar durante temporadas de floración.

Posibles riesgos:

Es altamente tóxico en insectos, aves, organismos acuáticos y por inhalación.

5.1.12. Termidor

Descripción:

Producto insecticida formulado contra termitas. Actúa en las colonias subterráneas, especies arbóreas vivas y madera seca. Puede emplearse como tratamiento preventivo o correctivo con un prolongado efecto residual. Trabaja por transferencia entre individuos por lo que es eficaz eliminando colonias de termitas, hormigas y garrapatas. Apto para uso en exteriores.

Composición: El ingrediente activo es el fipronil (3%). Contiene un 97% de ingredientes inertes como solventes y emulsionantes.

Forma de aplicación:

Tanto de si se trata de aplicar el producto como tratamiento preventivo o correctivo, trabaja como barrera química para evitar el ataque de las termitas en el edificio. En caso de edificaciones existentes se requiere inyectar el insecticida para tratar el terreno sobre el que se cimenta la construcción.

La casa fabricante recomienda que por cada 3 metros lineales de cimientos, se apliquen 15 litros de producto preparado al 2% o 4%, es decir diluyendo 2 o 4 litros de producto con 100 litros de agua. La profundidad de las inyecciones y la distancia entre ellas debe ser de 30 centímetros y realizarse con baja presión (máximo 50 libras por pulgada cuadrada). Posteriormente, es necesario sellar las perforaciones realizadas. Tiene un rendimiento de 15 a 20 metros cuadrados por cada litro de producto. También puede utilizarse directamente en grietas, hendiduras o nidos de insectos y repetir la aplicación a las 3 o 4 semanas.

Como tratamiento preventivo, el producto se aplica por aspersión, previo al colado de los cimientos y siguiendo la misma formulación del 2% o 4%. Una vez colocada la solución, se recomienda cubrir el terreno con un material impermeable.

Beneficios:

Es eficaz para combatir termitas subterráneas y tiene un prolongado efecto residual. Alta capacidad de absorción. Bajo riesgo de contaminación de aguas subterráneas.

Restricciones de uso:

Para una correcta aplicación la casa fabricante recomienda que se realice por profesionales en control de plagas. Recomendado únicamente para uso exterior.

Posibles riesgos:

Muy tóxico para organismos acuáticos. Altamente tóxico por inhalación por lo que se requiere del uso de equipo especializado para su manipulación. Es un producto inflamable.

5.1.13. Permetrina

Descripción:

Es un insecticida de tipo piretroide empleado para combatir insectos voladores y rastreros. En el mercado este compuesto se puede encontrar en diversas marcas comerciales como “Permetrina 25 EC” o “Dagnet”, entre otras. Es eficaz contra termitas y diversas plagas que atacan la madera y los granos almacenados. Puede emplearse como tratamiento preventivo o curativo.

Composición: El ingrediente activo es la permetrina en concentraciones de 36%. Contiene un 63% de ingredientes inertes como solventes, emulsionantes y compuestos relacionados.

Forma de aplicación:

La aplicación del producto varía si se trata como mecanismo preventivo o correctivo. En caso de que la madera se encuentre con afectaciones, es necesario lijar las piezas para retirar acabados como pinturas o barnices y para abrir el poro de la madera. El producto se diluye en una proporción de 25 ml en un litro de agua y se aplica por aspersión, pincelado o inyección. El rendimiento es de un litro para cada 20 m² de superficies a tratar.

Como tratamiento preventivo se recomienda una dilución de 12.5 ml de producto en un litro de agua y aplicarlo por aspersión. En caso de piezas nuevas puede emplearse el método de inmersión. Se deben sumergir por completo las piezas durante 10 minutos. La dilución recomendada es de 100 ml en 2 galones de agua. En todos los casos (madera nueva o para estructuras existentes) la madera debe quedar completamente impregnada del producto insecticida.

Tanto para edificaciones nuevas como existentes, otra alternativa de aplicación del producto es mediante surcos externos (zanjas) de no más de 15 centímetros de profundidad o por medio de perforaciones a una distancia de separación de 30 centímetros. En ambos casos las aplicaciones deben hacerse a baja presión para permitir la adecuada distribución del producto.

Beneficios:

Prolongado efecto residual, lenta degradación, eficaz en el control de termitas subterráneas. Su uso es apto en interior o exterior.

Restricciones de uso:

No se recomienda utilizarlo cuando la velocidad del viento sea de 10 km/h o superior, ni en condiciones de calor intenso. Debe aplicarse en estructuras desocupadas de personas y animales. El reingreso a las edificaciones puede efectuarse mínimo una hora después de realizada la aplicación. La permetrina ha sido prohibida en países europeos por su alta toxicidad y riesgos para la salud.

Posibles riesgos:

Altamente tóxico para todo tipo de animales y para plantas acuáticas. Debe aplicarse con equipo de protección: guantes, gabacha, botas, gafas y máscara.

5.2 Empíricos / tradicionales

Se identificaron nueve tratamientos empíricos: cera de abeja, diésel con zepol, aceite quemado, infusión de hojas de madero negro, baba de mozote, baba de tuna, canfín con cera de piso, aceite de linaza con trementina e infusión de hojas de tabaco.

Por accesibilidad de ciertos elementos se decidió evaluar cuatro de ellos; estos se aplicaron sobre piezas de madera de 2x2x30 cm y 0,5x0,5x1 cm de las especies *Gmelina arborea*, *Pinus radiata*, *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata* y *Dipteryx panamensis*, siendo las especies que se identificaron dentro de los inmuebles W-Tipo1-01 y AAA-Tipo1-01.

Los tratamientos empíricos seleccionados se describen a continuación:

5.2.1. Madero negro

Descripción:

El madero negro (*Gliricidia sepium*) presenta en sus hojas una moderada concentración de saponinas, al igual que una alta concentración de taninos; del mismo modo, presenta compuestos como el eicosano y el neofitadieno (Abdulaziz et al., 2019).

Forma de aplicación:

Se hirvió 3 litros de agua, posteriormente se agregó 1 kg de hojas y ramas frescas de madero negro y se dejó a fuego lento durante 2 horas y media. La solución se filtró y se recogió en un recipiente de vidrio ámbar y se almacenó a 4°C hasta su uso. Una vez listas las piezas de madera se colocó la solución de madero negro en un beaker de 5 litros y se sumergieron las piezas durante 1 hora. Cada 30 minutos las piezas se giraron para que la solución se impregnara de manera homogénea. Posteriormente, las piezas se dejaron secar a temperatura ambiente.

Beneficios:

Se ha reportado que las saponinas poseen actividad antifúngica (Barile et al., 2007; Tsuzuki et al., 2007; Lanzotti et al., 2012); la cual se debe a que las mismas son capaces de acomplejarse con esteroides en la membrana plasmática de los hongos, provocando una pérdida de integridad de la misma y consecuente liberación del material intracelular (Morrissey y Osbourn, 1999; Yu et al., 2022). De manera similar, los taninos son capaces de inhibir el crecimiento de hongos debido a su capacidad de dañar la pared y membrana celular de los mismos, causando la liberación del contenido intracelular (Zhu et al., 2019). Por su parte, el neofitadieno es capaz de dañar la membrana plasmática, a la vez que destruye la estructura de las mitocondrias fúngicas (Yusoff et al., 2020). Finalmente, se ha reportado que el eicosano posee actividad antifúngica (Ahsan et al., 2017).

Restricciones de uso:

No se considera que existan restricciones de uso hasta el momento.

Posibles riesgos:

No se consideran riesgos para su utilización.

5.2.2. Aceite quemado

Descripción:

Es un líquido aceitoso de color pardo a negro que se remueve del motor de automóviles cuando se cambia el aceite. El aceite usado de cárter es similar al aceite que no ha sido usado excepto que contiene sustancias químicas adicionales que se producen o se acumulan cuando se usa como lubricante de motores.

Forma de aplicación:

Se recolectaron 4 litros de aceite quemado en un taller mecánico y se almacenaron a temperatura ambiente hasta su uso. Una vez listas las piezas de madera se colocó el aceite quemado en un beaker de 5 litros y las piezas se sumergieron durante 1 hora. Cada 30 minutos las piezas se giraron para que la solución se impregnara de manera homogénea. Posteriormente, las piezas se dejaron secar a temperatura ambiente.

Beneficios:

Se ha encontrado que el impregnar la madera con aceite de motor usado incrementa su resistencia a la degradación por hongos. Lo anterior se debe a que su carácter hidrofóbico previene la entrada de agua en la madera; lo cual previene a su vez el crecimiento de hongos (Belchinskaya et al., 2021).

Restricciones de uso:

No se considera que existan restricciones de uso al momento. Su uso altera la apariencia de la madera, cambia el color y la condición oleosa del aceite impide que se aplique otro producto sobre la madera.

Posibles riesgos:

El aceite quemado es un compuesto tóxico para la ingesta e inhalación, por lo que al momento de la aplicación se debe tomar en cuenta medidas básicas de seguridad. Además, se debe considerar una disposición final de la solución ya que también es altamente dañino para el medio ambiente.

5.2.3. Diesel con zepol

Descripción:

El 1,4-dimetilnaftaleno es un hidrocarburo aromático policíclico (HAP) que puede encontrarse en el diésel (Liang et al., 2005). Mientras que el zepol es un ungüento comercial fabricado en Costa Rica, que posee como ingredientes alcanfor, mentol, trementina, eucaliptol y aceite de tomillo (Laboratorios Zepol, 2022).

Forma de aplicación:

Se compró 3 litros de diésel en una gasolinera, este se almacenó en un compartimiento especial para sustancias inflamables hasta su uso. Una vez listas las piezas de madera se colocó el diésel y se agregó 800g de zepol (Zepol, Costa Rica) en un beaker de 5 litros. Se agitó la mezcla hasta disolver el zepol y se sumergieron las piezas durante 1 hora, girándolas cada 30 minutos para que la solución se impregnara de manera homogénea. Posteriormente, las piezas se dejaron secar a temperatura ambiente.

Beneficios:

El diésel posee un efecto fungistático, suprimiendo el crecimiento del micelio de los hongos *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Epicoccum nigrum*, *Gnomoniopsis smithogilvyi*, *Phoma medicaginis*, *Pythium ultimum* y *Fusarium oxysporum* (Campbell et al., 2019). En cuanto al zepol, los ingredientes del mismo presentan propiedades antifúngicas; siendo capaz de inhibir el crecimiento de las levaduras *Candida albicans* y *C. tropicalis* (Ivanov et al., 2021) y los hongos fitopatógenos *Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. oxysporum* G5, *F. solani* G9 y *F. verticillioide* (Gazdağlı et al., 2018; Huo et al., 2021).

Restricciones de uso:

No se considera que existan restricciones de uso al momento. Su uso altera la apariencia de la madera, cambia el color y la condición oleosa de la mezcla del diésel con el zepol impide que se aplique otro producto sobre la madera.

Posibles riesgos:

El Diesel es un compuesto tóxico para la ingesta e inhalación, además es inflamable por lo que al momento de la aplicación se debe tomar en cuenta medidas básicas de seguridad.

5.2.4.Cera de abeja

Descripción:

La cera de abejas (al igual que otras ceras) es capaz de brindar resistencia a la madera frente a la degradación causada por hongos debido a que la cera al ser impregnada sobre la madera, termina por ingresar en los lúmenes celulares de la misma.

Forma de aplicación:

Se derritió 1kg de cera de abeja a fuego lento al momento de utilizar sobre las piezas de madera. La cera de abeja se aplicó con ayuda de un pincel de hebra fina, sobre todas las caras de las piezas, pasando una sola capa de cera. Posteriormente, las piezas se dejaron secar a temperatura ambiente.

Beneficios:

Dado que la cera posee propiedades hidrofóbicas, al estar los lúmenes llenos de cera se previene la entrada de agua. Asimismo, la cera limita la entrada de oxígeno en el lumen celular. Al haber poca disponibilidad de agua y oxígeno, el crecimiento de hongos se ve negativamente afectado (Németh et al., 2015; Akcay, 2020).

Restricciones de uso:

No se considera que existan restricciones de uso al momento. Según la forma de aplicación puede alterar la apariencia de la madera, además, por ser una capa que recubre la madera elimina la porosidad de la pieza por lo que impide que se aplique otro producto sobre la misma.

Posibles riesgos:

No se considera que existan riesgos en su uso.

5.3 Estrategias pasivas

Existen prácticas de diseño que ayudan a promover escenarios de confort a los usuarios de un espacio, pero también, ayudan a la conservación de las estructuras al controlar las condiciones climáticas a las que estas son expuestas. Estas estrategias son importantes de tomar en cuenta en edificaciones de madera, las cuales pueden llegar a ser vulnerables al entorno.

En el caso específico de las edificaciones de la ciudad de Limón, las estrategias de diseño pasivo constituyen un sello característico de la arquitectura caribeña costarricense, por lo que respetar estos elementos de diseño también aporta a la preservación de la identidad del lugar. Las estrategias pasivas más importantes se mencionan a continuación:

5.3.1. Ventilación constante de los espacios

Un flujo constante de aire ayuda a que la humedad no se acumule en los diferentes componentes estructurales y arquitectónicos que integran un inmueble, por lo que evita el crecimiento de hongos y el eventual biodeterioro.

La arquitectura caribeña costarricense presenta elementos representativos para garantizar que la ventilación sea efectiva durante el día y la noche. Algunos de estos elementos son los entramados de madera o petatillos que se colocan sobre los marcos de las puertas o las ventanas, los monitores en cubiertas para el escape del aire caliente, o aperturas en los distintos elementos de la envolvente (conocidos como ventilas) para garantizar el flujo del aire en el interior de los espacios. Es fundamental que las ventilas a nivel de entepiso y cielo, así como las contraventanas y las aberturas en paredes protegidas por entramados de madera o petatillos se mantengan abiertas en todo momento, con algún elemento de filtro que permita el paso del aire pero que impida el ingreso de animales. Además, en la medida de lo posible, las ventanas deben permanecer abiertas o sin vidrio, debido a que este material puede generar efecto invernadero y elevar las temperaturas internas, así como impedir la ventilación natural. La figura 21 muestra los elementos de ventilación en la arquitectura caribeña antes mencionados.



Figura 21. Elementos de ventilación en la arquitectura caribeña. 1. Ejemplo de abertura en pared. 2. Ejemplo de ventila de cámara plena (cielo ventilado). 3. Ejemplo de ventila de entrepiso. Fuente: propia.

La arquitectura caribeña costarricense suele construirse elevada del nivel del terreno mediante el uso de pilotes, generando un espacio ventilado debajo de los inmuebles que garantiza la ventilación del entrepiso. Este espacio debe conservarse de manera abierta, con flujos de aire constantes.

Otro elemento característico de la arquitectura caribeña costarricense es el monitor, el cual es un volumen en la cumbre de la edificación que permite la salida del aire caliente del interior. Las ventilas de estos elementos deben permanecer siempre abiertas, y si el cerramiento de este elemento posee vidrio en algunos sectores, se debe garantizar que el alero genere sombra suficiente durante las horas de exposición al sol.

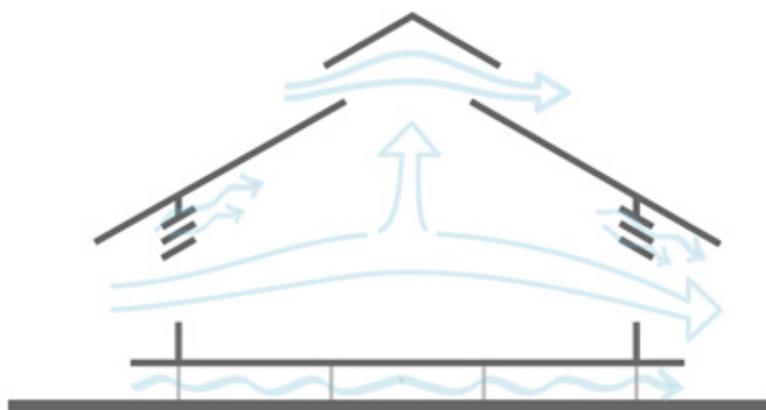


Figura 22. Diagrama de funcionamiento de ventilación natural en edificaciones de arquitectura caribeña costarricense. Fuente: propia.

Otra característica propia de este tipo de arquitectura es que los cerramientos internos cuentan con aberturas, principalmente en la parte superior. A pesar de que esta particularidad puede venir en detrimento de la privacidad, si se bloquean los vanos se estaría compartimentado por completo el espacio interno y eliminando la posibilidad de tener un flujo de aire constante, por lo que es fundamental mantenerlos abiertos siempre. Estos vanos suelen presentarse en la parte superior de las paredes, permitiendo que el aire caliente, al ser menos denso, suba y salga del espacio por estas aperturas. Este fenómeno se conoce como efecto stack o ventilación por estratificación, y es además el mismo principio que se aplica en los monitores de la cubierta.

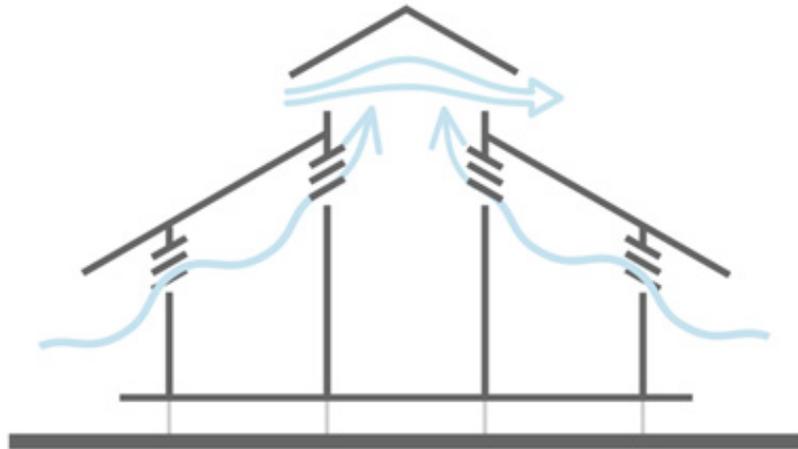


Figura 23. Diagrama de ventilación por efecto stack en espacios internos de la arquitectura caribeña costarricense.
Fuente: propia.

5.3.2. Conservación de aleros y antealeros

Los aleros y antealeros evitan que la madera se moje y que luego sea sometida directamente a la radiación solar. Estos procesos de humedecimiento y secado constante de la madera producen el hinchamiento y contracción del material, lo que puede facilitar el agrietamiento de la madera y la entrada de insectos que degradan la estructura. Además, la exposición prolongada al agua propicia el crecimiento de hongos y la pudrición de la madera.

Los elementos de sombra y protección de la lluvia también simplifican las labores de mantenimiento en fachadas, ya que preservan las superficies a temperaturas y humedades relativamente estables, lo que evita el agrietamiento o cuarteado de los acabados, así como la deshidratación de las maderas.

También es fundamental el diseño de la evacuación de la precipitación de las cubiertas y antealeros, ya que de no existir canoas y bajantes, el pringue ocasionado por el choque del agua con el suelo puede llegar a ensuciar los elementos estructurales y arquitectónicos de la fachada, así como acelerar su biodeterioro por acumulación de humedad.

Si por alguna razón es imperante prescindir de las canoas y bajantes, el alero debe ser lo suficientemente amplio para garantizar la protección de los elementos de madera. Además, se debe garantizar que a nivel de superficie se construya un sistema de canalización que asegure la evacuación correcta de las aguas pluviales. En la Figura 24 se muestra un ejemplo de caño para recolección de agua pluvial que puede ayudar a disminuir el pringue de la lluvia.



Figura 24. Caño o canal de suelo para recolección de lluvia. Fuente: propia

5.3.3. Aprovechar las primeras horas de Sol

Según datos del Instituto Meteorológico Nacional, durante las noches, la humedad relativa en la ciudad de Limón puede alcanzar valores por encima del 95%, por lo que aprovechar los primeros rayos del sol puede ser una estrategia para controlar la humedad en los espacios, principalmente en los núcleos húmedos de la estructura. Se debe tener cuidado en no permitir ganancias de energía directas por radiación durante mucho tiempo, ya que se podrían calentar los espacios y comprometer el confort de los habitantes. Cabe destacar que esta estrategia es únicamente aprovechable si existen espacios con aperturas hacia el este.

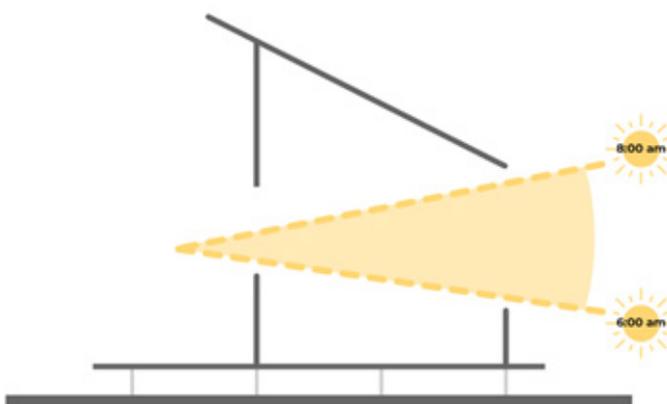


Figura 25. Diagrama de aprovechamiento de radiación solar directa en fachada este. Fuente: propia.

5.3.4. Respetar la separación entre edificaciones

La arquitectura caribeña costarricense tiene como característica que se emplaza hacia el centro del lote, lo que facilita la ventilación y la evacuación pluvial. Si fuese necesaria alguna ampliación en estos sectores, se debe garantizar que los cerramientos de madera no queden adosados a tapias o muros perimetrales, y que exista la oportunidad de ventilar de manera cruzada. Es importante considerar que estas ampliaciones podrían perjudicar la conservación de la edificación aledaña, principalmente si no se realiza un adecuado diseño de cubierta. Además, si la edificación es de interés histórico o patrimonial, se debe contar con la asesoría de un profesional y el visto bueno del Centro de Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural para no comprometer el valor patrimonial de la estructura.

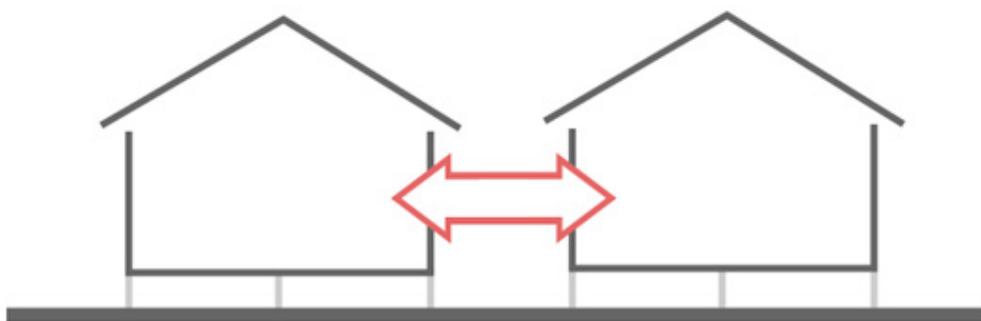


Figura 26. Separación de edificaciones de madera. Fuente: propia.

5.3.5. Respetar los cerramientos y revestimientos existentes

Tal y como se muestra en la figura 27, otra característica de la arquitectura caribeña costarricense es la utilización de láminas metálicas como revestimiento de cerramientos exteriores, principalmente en aquellas fachadas que quedan más expuestas a la lluvia, o incluso en las colindancias. Estos cerramientos se deben proteger con un producto anticorrosivo, y en caso de sustitución, se debe garantizar una cobertura impermeable que no comprometa la estructura de madera.



Figura 27. Uso de láminas metálicas como revestimiento exterior. Fuente: propia.

5.4. Otras buenas prácticas

Además de seleccionar un tratamiento adecuado para la protección de la madera, los expertos entrevistados expusieron otras buenas prácticas en relación a los procesos de selección del material y construcción de edificaciones que pueden ayudar a extender la vida útil de los inmuebles y facilitar las labores de mantenimiento. Algunas de estas buenas prácticas son:

● Corte de la madera en el tiempo adecuado

La madera es un material constructivo que proviene directamente de seres vivos, los cuales crecen dentro de ciclos naturales que afectan sus características. Por ejemplo, Juan Tuk (2022) afirma que la madera que se corta en la fase de luna llena es más susceptible al ataque de insectos que la que se corta durante la fase de luna menguante. Las razones obedecen a que durante la luna llena las fuerzas que ejerce este satélite sobre la Tierra son mayores, lo que aumenta la cantidad de azúcares y almidones en los troncos de los árboles, dejando la madera cargada de sustancias nutritivas para los xilófagos.

Otro aspecto en el que afecta el tiempo de vida de la planta es la relación albura - duramen. Tuk, Berrocal y Carpio (2022) coinciden en que entre mayor edad, mayor volumen de duramen en la planta, por lo que se vuelve más valiosa para fines constructivos. Se entiende por duramen aquella parte interior del tronco que es más oscura, densa y de material inactivo, mientras que la albura, es aquella parte externa, más clara, porosa y llena de células vivas cargadas de nutrientes; es decir, entre menos albura contengan las piezas menos susceptibles son para los insectos. La relación albura - duramen también depende de la especie y la altura del tronco.

Berrocal (2022) menciona que esta es una de las principales debilidades de la madera de plantación, ya que por temas comerciales, no se puede esperar a que los árboles alcancen una edad madura para cortarlos, lo que hace que las piezas no logren la resistencia deseada ante el biodeterioro.

● Mantener la madera seca

La humedad es uno de los principales agentes de biodeterioro de las edificaciones en madera, principalmente fundaciones, cerramientos y entresijos, los cuales captan agua del suelo u otros elementos constructivos por capilaridad (Vives, 2022). Según Tuk (2022) esta no solo propicia el crecimiento de hongos, sino que también aporta condiciones óptimas para el crecimiento y reproducción de xilófagos, por lo que mantener las piezas de madera separadas del suelo y protegidas de la lluvia es fundamental.

Otra buena práctica ligada a este aspecto es utilizar maderas secas en el proceso de construcción, ya que además de lo anteriormente mencionado, las piezas se contraen en el momento que se secan, lo que podría provocar afectaciones mecánicas en la estructura.

Quesada (2022) recuerda que, en caso de que las piezas sean secadas al horno, siempre existe un porcentaje de humedad del ambiente que regresará a la pieza, por lo que no debería ser utilizada como material constructivo de manera inmediata.

● **Correcta protección de la madera**

Todos los expertos entrevistados coinciden en que se debe trabajar con maderas protegidas contra la acción de los xilófagos, dando prioridad a curados por inmersión o presión al vacío que garanticen la penetración de los químicos. También hablan de la necesidad de contemplar la fumigación como parte de los procesos de mantenimiento de este tipo de estructuras, ya que según Monge (2022) ningún preservante da más de 10 o 12 años de protección. Cubero (2022) manifiesta que la aplicación de los insecticidas debe realizarse antes de la colocación de selladores, barnices u otros productos de acabados para que el químico pueda ser absorbido al menos por las capas superficiales de la madera.

Es importante recordar que algunos insectos hacen sus nidos en la madera, por lo que se recomienda aplicar el insecticida al menos en dos ocasiones, separadas por un lapso de tiempo de hasta 45 días, para garantizar la eliminación de las crías una vez hayan eclosionado los huevos.

En el caso de la humedad, Gómez (2022) recomienda que se apliquen los barnices y antihongos al menos cada dos años.

● **Uso de madera de la zona**

Carpio (2022) enfatiza en que existen distintos tipos de especies vegetales según las condiciones ambientales del sitio, por lo que algunas maderas son más resistentes a ciertos contextos que otras. Incluso después de procesadas industrialmente, las maderas que se importen deben pasar por un periodo de acondicionamiento a las características de humedad del entorno, entre otras variables, por lo que es aconsejable utilizar especies nativas. Otra recomendación de la totalidad de los expertos es la priorización de maderas duras sobre las suaves, pero dejan en claro que muchas veces estas decisiones quedan supeditadas a las condiciones del mercado.

● **Mantenimiento preventivo**

Todos los expertos concuerdan en que una vez dañada la pieza, no existen tratamientos correctivos que le pueda devolver sus capacidades mecánicas, por lo que corresponde sustituir total o parcialmente los elementos dañados. Es por esto que los procesos de mantenimiento no se pueden dejar hasta que los daños sean visibles, sino por el contrario, deben irse implementando acciones preventivas programadas en el tiempo según las especificaciones de los fabricantes de los agentes de conservación utilizados. La limpieza constante y el uso de la infraestructura también son importantes para garantizar el buen estado de los elementos.

- Abdollahzadeh, J., Javadi, A., Goltapeh, E. M., Zare, R., y Phillips, A. J. L. (2010). Phylogeny and morphology of four new species of *Lasiodiplodia* from Iran. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 25(1), 1-10. <https://doi.org/10.3767/003158510X524150>
- Abdulaziz, A. A., Dapar, M. L. G., Manting, M. M. E., Torres, A. J., Aranas, A. T., Mindo, R. A. R., ... y Demayo, C. G. (2019). Qualitative evaluation of the antimicrobial, antioxidant, and medicinally important phytochemical constituents of the ethanolic extracts of the leaves of *Gliricidia sepium* (Jacq.). *Pharmacophore*, 10(4), 72-83.
- Akcay, C. (2020). Determination of decay, larvae resistance, water uptake, color, and hardness properties of wood impregnated with honeybee wax. *BioResources*, 15(4), 8339. <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.8339-8354>
- Ahsan, T., Chen, J., Zhao, X., Irfan, M., y Wu, Y. (2017). Extraction and identification of bioactive compounds (eicosane and dibutyl phthalate) produced by *Streptomyces* strain KX852460 for the biological control of *Rhizoctonia solani* AG-3 strain KX852461 to control target spot disease in tobacco leaf. *AMB Express*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0351-z>
- Araujo-Blanco, J. A. (2015). Remoción de hidrocarburos policíclicos aromáticos de muestras de agua de la bahía de Amuay por hongos autóctonos del género *Aspergillus*. Doctoral dissertation, Universidad del Zulia.
- Battaglia, E., Visser, L., Nijssen, A., van Veluw, G. J., Wösten, H. A. B., y de Vries, R. P. (2011). Analysis of regulation of pentose utilisation in *Aspergillus niger* reveals evolutionary adaptations in Eurotiales. *Studies in Mycology*, 69(1), 31-38. <https://doi.org/10.3114/sim.2011.69.03>
- Belchinskaya, L., Zhuzhukin, K. V., Ishchenko, T., y Platonov, A. (2021). Impregnation of Wood with Waste Engine Oil to Increase Water-and Bio-Resistance. *Forests*, 12(12), 1762. <https://doi.org/10.3390/f12121762>
- Berrocal-Jiménez, A. (15 de Marzo de 2022). Entrevista a experto sobre uso y tratamiento de la madera como material de construcción. (D. Méndez Álvarez, Entrevistador).
- Campbell, M., Adams, R., Dobry, E., Dobson, K., Stefanick, V., y Till, J. (2019). The sprout regulating compound 1, 4-dimethylnaphthalene exhibits fungistatic activity. *J. Agron. Res*, 1, 27-34. <https://doi.org/10.14302/issn.2639-3166.jar-18-2502>
- Carbajo-García, J. M. (2015). Utilización de hongos de podredumbre blanca en la producción de pasta de celulosa de alto rendimiento. Universidad Complutense de Madrid.
- Carpio-Malavassi, I. (6 de Abril de 2022). Entrevista a experto sobre uso y tratamiento de la madera como material de construcción. (E. Salazar Ceciliano, Entrevistador).
- Castillo-Morales, I., & Bárcenas-Pazos, C. B. (1998). Pentaclorofenol: toxicología y riesgos para el ambiente. *Madera y Bosques*, 4(2), 21-37.
- Cedeño-Sánchez, M., Wendt, L., Stadler, M., y Mejía, L. C. (2020). Three new species of *Hypoxylon* and new records of *Xylariales* from Panama. <http://hdl.handle.net/10033/622755>
- Cubero-Fernández, D. (29 de Marzo de 2022). Entrevista a experto sobre uso y tratamiento de la madera como material de construcción. (I. Hernández Salazar, Entrevistador).

- Gangaraj, R., Nagaraja, A., Gaba, S., Das, A., Prameeladevi, Debbarma, R., ... y Kamil, D. (2022). Occurrence, identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with guava wilt disease in India. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 55(2), 175-197. <https://doi.org/10.1080/03235408.2021.2005368>
- García-Baltodano, K., Hernández-Salazar, I., Porras-Alfaro, D., Méndez-Álvarez, D., Chang-Albizure, D., Salazar-Ceciliano, E. y Guevara-Murillo, M. (2021). Inventario de edificaciones de arquitectura caribeña costarricense en la ciudad de Limón. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Recuperado de <https://hdl.handle.net/2238/13405>
- Gazdali, A., Sefer, Ö., Yörük, E., Varol, G. ., Teker, T., y Albayrak, G. (2018). Investigation of camphor effects on *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* at different molecular levels. *Pathogens*, 7(4), 90. <https://doi.org/10.3390/pathogens7040090>
- Guzmán-Páez, A. (2020). Identificación de sideróforos y ácido oxálico producidos por *Lasiodiplodia* spp. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Hamed, S. A. M. (2013). In-vitro studies on wood degradation in soil by soft-rot fungi: *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 78, 98-102. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.12.013>
- Hsieh, H. M., Ju, Y. M., y Rogers, J. D. (2005). Molecular phylogeny of *Hypoxylon* and closely related genera. *Mycologia*, 97(4), 844-865. <https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832776>
- Huo, H., Gu, Y., Cao, Y., Liu, N., Jia, P., y Kong, W. (2021). Antifungal activity of camphor against four phytopathogens of *Fusarium*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-274895/v1>
- Ibrahim, S. R., Mohamed, S. G., Altyar, A. E., y Mohamed, G. A. (2021). Natural products of the fungal genus *Humicola*: Diversity, biological activity, and industrial importance. *Current Microbiology*, 78(7), 2488-2509. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02533-6>
- Laboratorios Zepol. (2022). Zepol. <https://labzepol.com/productos/zepol/>
- Lanzotti, V., Barile, E., Antignani, V., Bonanomi, G., y Scala, F. (2012). Antifungal saponins from bulbs of garlic, *Allium sativum* L. var. *Voghiera*. *Phytochemistry*, 78, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.03.009>
- Lambert, C., Wendt, L., Hladki, A. I., Stadler, M., y Benjamin, E. (2019). *Hypomontagnella* (Hypoxylaceae): a new genus segregated from *Hypoxylon* by a polyphasic taxonomic approach. *Mycological Progress*, 18(1), 187-201. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1007/s11557-018-1452-z>
- Liang, F., Lu, M., Keener, T. C., Liu, Z., y Khang, S. J. (2005). The organic composition of diesel particulate matter, diesel fuel and engine oil of a non-road diesel generator. *Journal of Environmental Monitoring*, 7(10), 983-988. <https://doi.org/10.1039/B504728E>
- Mohali, S. R., CastroMedina, F., ÚrbezTorres, J. R., y Gubler, W. D. (2017). First report of *Lasiodiplodia theobromae* and *L. venezuelensis* associated with blue stain on *Ficus insipida* wood from the Natural Forest of Venezuela. *Forest Pathology*, 47(5), e12355. <https://doi.org/10.1111/efp.12355>
- Monge-Quesada, W. (17 de Marzo de 2022). Entrevista a experto sobre uso y tratamiento de la madera como material de construcción. (K. García Baltodano, Entrevistador).
- Morrissey, J. P., y Osbourn, A. E. (1999). Fungal resistance to plant antibiotics as a mechanism of pathogenesis. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63(3), 708-724. <https://doi.org/10.1128/MMBR.63.3.708-724.1999>

- Németh, R., Tsalagkas, D., y Bak, M. (2015). Effect of soil contact on the modulus of elasticity of beeswax-impregnated wood. *BioResources*, 10(1), 1574-1586. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.1574-1586>
- Quesada-Chaves, R. (22 de marzo de 2022). Entrevista a experto sobre uso y tratamiento de la madera como material de construcción. (D. Porras Alfaro, Entrevistador).
- San Martín, F. E., Ju, Y. M., y Rogers, J. D. (1999). Algunas especies de *Hypoxylon* (Pyrenomycetes, Xylariaceae) de México. *Acta Botanica Mexicana*, (47), 31-53. <https://www.redalyc.org/pdf/574/57404705.pdf>
- Sanou, O. y Quesada, F. (1998). Orden, progreso y civilización (1871–1914). Transformaciones urbanas y arquitectónicas. En Fonseca, E. y Garnier, J. (Eds.), *Historia de la Arquitectura de Costa Rica*, 219–317. San José: Museos del Banco Central y Centro de Investigaciones Históricas de Centroamérica.
- Schoch, C.L., et al. (2020). NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. Database (Oxford). PubMed: 32761142 PMC: PMC7408187. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>
- Schuster, E., Dunn-Coleman, N., Frisvad, J. C., y Van Dijck, P. W. (2002). On the safety of *Aspergillus niger*—a review. *Applied microbiology and biotechnology*, 59(4), 426-435. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1032-6>
- Smith, G. J., y Hyde, K. D. (2001). Fungi from palms. XLIX. *Astrocystis*, *Biscogniauxia*, *Cyanopulvis*, *Hypoxylon*, *Nemania*, *Guestia*, *Rosellinia* and *Stilbohypoxyton*. *Fungal Diversity*.
- Tsuzuki, J. K., Svidzinski, T. I., Shinobu, C. S., Silva, L. F., Rodrigues-Filho, E., Cortez, D. A., y Ferreira, I. C. (2007). Antifungal activity of the extracts and saponins from *Sapindus saponaria* L. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 79, 577-583. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652007000400002>
- Tuk, J. (16 de Marzo de 2022). Entrevista a experto sobre uso y tratamiento de la madera como material de construcción. (E. Salazar Ceciliano, Entrevistador).
- Visagie, C. M., Seifert, K. A., Houbraken, J., Samson, R. A., y Jacobs, K. (2016). A phylogenetic revision of *Penicillium* sect. *Exilicaulis*, including nine new species from fynbos in South Africa. *IMA fungus*, 7(1), 75-117. <https://doi.org/10.5598/imafungus.2016.07.01.06>
- Vives-Luque, I. (10 de Marzo de 2022). Entrevista a experto sobre uso y tratamiento de la madera como material de construcción. (E. Salazar Ceciliano, Entrevistador).
- Wang, X. W., Bai, F. Y., Bensch, K., Meijer, M., Sun, B. D., Han, Y. F., ... y Houbraken, J. (2019 a). Phylogenetic re-evaluation of *Thielavia* with the introduction of a new family *Podosporaceae*. *Studies in mycology*, 93, 155-252. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2019.08.002>
- Wang, X. W., Yang, F. Y., Meijer, M., Kraak, B., Sun, B. D., Jiang, Y. L., ... y Houbraken, J. (2019 b). Redefining *Humicola* sensu stricto and related genera in the *Chaetomiaceae*. *Studies in mycology*, 93, 65-153. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.07.001>
- Wendt, L., Benjamin, E., Kuhnert, E., Heitkampfer, S., Lambert, C., Hladki, A. I., ... y Stadler, M. (2018). Resurrection and emendation of the *Hypoxylaceae*, recognised from a multigene phylogeny of the *Xylariales*. *Mycological Progress*, 17(1), 115-154. <https://doi.org/10.1007/s11557-017-1311-3>
- Woodbridge, R. (2003). *Historia de la arquitectura en Costa Rica*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Wu, Y. P., Pi, Y. H., Long, S. H., Lin, Y., Long, Q. D., Kang, J. C., ... y Li, Q. R. (2021). Morphological and phylogenetic study of five species of *Astrocystis* and *Collodiscula* on bamboo. *Phytotaxa*, 522(4), 265-284. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5575456>

- Yadav, A. N., Verma, P., Kumar, V., Sangwan, P., Mishra, S., Panjiar, N., ... y Saxena, A. K. (2018). Biodiversity of the genus *Penicillium* in different habitats. In *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering* (pp. 3-18). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63501-3.00001-6>
- Yu, Z., Wu, X., y He, J. (2022). Study on the antifungal activity and mechanism of tea saponin from *Camellia oleifera* cake. *European Food Research and Technology*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03929-1>
- Yusoff, S. F., Haron, F. F., Tengku Muda Mohamed, M., Asib, N., Sakimin, S. Z., Abu Kassim, F., y Ismail, S. I. (2020). Antifungal activity and phytochemical screening of *vernonia amygdalina* extract against *Botrytis cinerea* causing gray mold disease on tomato fruits. *Biology*, 9(9), 286. <https://doi.org/10.3390/biology9090286>
- Zhu, C., Lei, M., Andargie, M., Zeng, J., y Li, J. (2019). Antifungal activity and mechanism of action of tannic acid against *Penicillium digitatum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 107, 46-50. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2019.04.009>

