

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**DIFUSIÓN DE SALES DE BORO EN LA MADERA  
PRESERVADA DE ESPECIES FORESTALES DE  
PLANTACIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS,  
CARTAGO, COSTA RICA.**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON ÉNFASIS  
EN MANEJO Y PRODUCCIÓN FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIATURA

ANGELET ROJAS PRADO

CARTAGO, COSTA RICA

NOVIEMBRE 2022

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**DIFUSIÓN DE SALES DE BORO EN LA MADERA  
PRESERVADA DE ESPECIES DE PLANTACIONES PARA  
CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS, CARTAGO, COSTA  
RICA.**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON ÉNFASIS  
EN MANEJO Y PRODUCCIÓN FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIATURA

ANGELET ROJAS PRADO

CARTAGO, COSTA RICA

NOVIEMBRE 2022

# DIFUSIÓN DE SALES DE BORO EN LA MADERA PRESERVADA DE ESPECIES DE RÁPIDO CRECIMIENTO PARA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS, CARTAGO, COSTA RICA.

Angelet Rojas-Prado <sup>1</sup>

## RESUMEN

Históricamente se ha utilizado la preservación con sales de boro debido a las ventajas que presenta, como su hidrosolubilidad, retardante del fuego y el efecto fungicida; sin embargo, en Costa Rica aplicando el método de preservación inmersión-difusión, no se llega a la retención mínima establecida por INTECO (INTE C 345:2019).

Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo, determinar la difusión y retención de sales de boro en la preservación de madera de cuatro especies forestales (*Dipteryx panamensis*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* y *Terminalia amazonia*) provenientes de plantaciones, utilizadas en la construcción de viviendas en Costa Rica. El trabajo se realizó en los laboratorios de anatomía y química de la madera de la Escuela de Ingeniería Forestal del Tecnológico de Costa Rica. La madera analizada se obtuvo de uno de los aserraderos que comercializan madera para construcción de viviendas del proyecto “Mejoramiento del diseño arquitectónico, estructural y del uso de materiales utilizados en la construcción de viviendas de interés social para la Territorio Indígena de Cabagra, Buenos Aires, Puntarenas”.

Se determinó la retención máxima de sales de boro en estas cuatro especies, además, se propuso un modelo de difusión para cada especie en verde y seco y finalmente se establecieron coeficientes de difusión para cada especie por modelo propuesto. Se determinó la penetración del preservante visualmente y se obtuvo la retención real aplicando el método con azometina-H. Obteniendo como resultados que la especie *Gmelina arborea* fue la que presentó mayor retención y difusión tanto en condición verde como seca. Sin embargo, se recomienda la preservación con sales de boro para madera verde para una penetración uniforme.

**Palabras clave:** Preservación de madera, sales de boro, biodeterioro, coeficientes de difusión.

## ABSTRACT

Historically, preservation with boron salts has been used due to its advantages, such as its water solubility, fire retardant and fungicidal effect; however, in Costa Rica, applying the immersion-diffusion preservation method, the minimum retention established by INTECO (INTE C 345:2019) is not reached. Therefore, the present study aims to determine the diffusion and retention of boron salts in the preservation of wood of four forest species (*Dipteryx panamensis*, *Gmelina arborea*, *Tectona grandis* and *Terminalia amazonia*) from plantations, used in construction. of homes in Costa Rica. The work was carried out in the wood anatomy and chemistry laboratories of the School of Forestry Engineering of the Technological Institute of Costa Rica. The analyzed wood was obtained from one of the sawmills that sell wood for housing construction of the project “Mejoramiento del diseño arquitectónico, estructural y del uso de materiales utilizados en la construcción de viviendas de interés social para la Territorio Indígena de Cabagra, Buenos Aires, Puntarenas”.

The maximum retention of boron salts in these four species was determined, in addition, a diffusion model was proposed for each species in green and dry and finally diffusion coefficients were established for each species by proposed model. Preservative penetration was determined visually, and actual retention was obtained by applying the azomethine-H method. Obtaining as results that the species *Gmelina arborea* was the one that presented the highest retention and diffusion in both green and dry conditions. However, preservation with boron salts is recommended for green wood for even penetration.

**Keywords:** Wood preservation, boron compounds, biodeterioration, diffusion coefficients.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

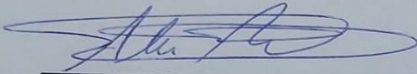
---

<sup>1</sup> Rojas-Prado, A. (2022). Difusión de sales de boro en la madera preservada de especies de rápido crecimiento para construcción de viviendas, Cartago, Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

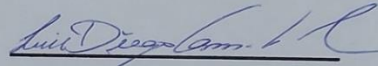
## ACREDITACIÓN

### CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por el Ph.D. Alexander Berrocal Jiménez, MBA. Diego Camacho Cornejo y M.Sc. Johana Gaitán Álvarez como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal con énfasis en Manejo y Producción Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



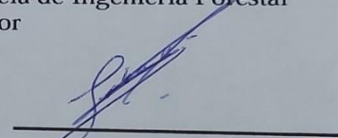
Alexander Berrocal Jiménez Ph.D.  
Escuela de Ingeniería Forestal  
Director de tesis



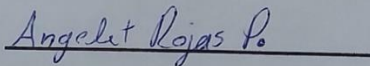
Diego Camacho Cornejo, MBA.  
Escuela de Ingeniería Forestal  
Lector



Dorian Carvajal Vanegas  
Escuela de Ingeniería Forestal  
Coordinador Trabajos Finales  
de Graduación



Johana Gaitán Álvarez, M.Sc.  
Escuela de Ingeniería Forestal  
Lectora



Angelet Rojas Prado.  
Estudiante

## **DEDICATORIA**

A mí y a las personas que me han apoyado.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia

Al profesor Diego Camacho Cornejo

A mi profesor guía, Alexander Berrocal Jiménez

A Johana Gaitán Álvarez

Al profesor Roger Moya Roque

A Robert Cubero

A Carlos Olivares

A Mila, Osva, Cata y Mel

A mis gatos, Sofio y Tigresa

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ii</b>
<b>ACREDITACIÓN</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE CUADROS</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE FIGURAS</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE ANEXOS</b>	<b>x</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>4</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>4</b>
<b>3. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>5</b>
<b>3.1 GENERALIDADES DEL BORO</b>	<b>5</b>
3.1.1 Historia del elemento boro	5
3.1.2 Características del elemento boro	5
<b>3.2 USOS DEL BORO</b>	<b>6</b>
<b>3.3 EL BORO COMO PRESERVANTE DE MADERA</b>	<b>7</b>
<b>3.4 EL BORO Y SU LIXIVIACIÓN</b>	<b>8</b>
<b>3.5 MÉTODOS DE PRESERVACIÓN</b>	<b>8</b>
3.5.1 Método de aplicación con brocha.	9
3.5.2 Método de inmersión	9
3.5.3 Método de ascensión	10
3.5.4 Método de baño caliente - frío	11
3.5.5 Procesos a presión	11
<b>3.6 MECANISMOS DE ACCIÓN DEL BORO UTILIZADO COMO INSECTICIDA</b>	<b>13</b>
<b>3.7 SALES DE BORO COMO PRESERVANTE EN COSTA RICA</b>	<b>15</b>
<b>4. METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>
<b>4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>19</b>
<b>4.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS</b>	<b>20</b>



<b>4.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS</b>	<b>20</b>
<b>4.4 EQUIPO E INSUMOS:</b>	<b>21</b>
<b>4.5 MÉTODO DE PRESERVACIÓN</b>	<b>22</b>
<b>4.6 DETERMINACIÓN VISUAL DE PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DEL PRESERVANTE (COLORIMETRÍA)</b>	<b>23</b>
4.6.1 Procedimiento	23
4.6.2 Muestras	23
<b>4.7 DETERMINACIÓN DE LA RETENCIÓN REAL CON EL MÉTODO DE AZOMETINA-H</b>	<b>24</b>
4.7.1 Procedimiento	24
4.7.2 Filtración	25
<b>4.8 DETERMINACIÓN DE ABSORBANCIA CON EL ESPECTROFOTÓMETRO</b>	<b>25</b>
4.8.1 Curva de absorbancia de boro como referencia	25
4.8.2 Preparación de muestras	26
<b>4.9 ANÁLISIS DE DATOS</b>	<b>26</b>
4.9.1 Preparación de la base de datos	26
4.9.2 Propuesta de modelos de difusión y determinación de los coeficientes de difusión.	27
4.9.3 Análisis estadístico	28
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>29</b>
<b>5.1 DETERMINACIÓN DE LA RETENCIÓN MÁXIMA DE SALES DE BORO EN LAS CUATROS ESPECIES ESTUDIADAS EN SU CONDICIÓN VERDE Y SECA.</b>	<b>29</b>
5.1.1 Profundidad de penetración del preservante determinado visualmente.	29
5.1.2 Retención y difusión de sales de boro en las especies estudiadas en condición verde y seca.	32
5.1.3 Propuesta de modelos de difusión para la retención del preservante en el tiempo, la profundidad alcanzada en el tiempo y la retención obtenida por profundidad máxima.	36
5.1.4 Coeficientes de difusión para la retención del preservante en el tiempo, la profundidad alcanzada en el tiempo y la retención obtenida por profundidad máxima	42
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>46</b>
<b>7. REFERENCIAS</b>	<b>48</b>
<b>8. ANEXOS</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Toxicidad mínima encontrada para dos especies de termitas con el compuesto de boro con mayor resultado	14
<b>Cuadro 2.</b> Categoría de riesgo para la madera preservada, brindada por INTECO.	16
<b>Cuadro 3.</b> Retención mínima establecida según el preservante a utilizar por categoría de riesgo o servicio de la madera.	17
<b>Cuadro 4.</b> Representación visual de la penetración de sales de boro en cuatro especies de rápido crecimiento en condición verde y seca a los 21 días de su aplicación.	30

## ÍNDICE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Preservación de madera con el uso de brocha. (Fuente Madera 21, 2020).	9
<b>Figura 2.</b> Preservación por inmersión (Fuente CSCAE, sf)	10
<b>Figura 3.</b> Preservación con el método de ascensión (Fuente Calderón A,2018).	11
<b>Figura 4.</b> Ejemplo de preservación a presión con el uso de autoclave (Fuente ISVE Wood, s.f.).	12
<b>Figura 5.</b> Ubicación del sitio donde se hizo el trabajo. (Fuente propia)	19
<b>Figura 6.</b> Tipos de penetración del preservante. (Fuente: USAID, Bolivia ,1998).	31
<b>Figura 7.</b> Retención de ácido bórico equivalente (% BAE w/v) promedio por especie según su condición (verde o seco)	33
<b>Figura 8.</b> Profundidad alcanzada por el preservante por especie y condición.	35
<b>Figura 9.</b> Modelo de ajuste lineal para la penetración en el tiempo por especie según su condición. D.panamensis seco (a) y verde (b), G.arborea seco (c) y verde (d), T.grandis seco (e) y verde (f), T.amazonia seco (g) y verde (h).	36
<b>Figura 10.</b> Modelo de ajuste lineal para la retención en el tiempo por especie según su condición. D.panamensis seco (a) y verde (b), G.arborea seco (c) y verde (d), T.grandis seco (e) y verde (f), T.amazonia seco (g) y verde (h).	38
<b>Figura 11.</b> Modelo de ajuste lineal para la retención según su espesor por especie según su condición. D.panamensis seco (a) y verde (b), G.arborea seco (c) y verde (d), T.grandis seco (e) y verde (f), T.amazonia seco (g) y verde (h).	41
<b>Figura 12.</b> Coeficiente de retención contra tiempo obtenido para cada especie según su condición (verde o seca).	42
<b>Figura 13.</b> Coeficiente de espesor contra tiempo obtenido para cada especie según su condición (verde o seca).	44
<b>Figura 14.</b> Coeficiente de retención contra espesor obtenido para cada especie según su condición (verde o seca).	45

## ÍNDICE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Equipo Utilizado, Sierra Cinta (A), Molino (B), Tamiz (C) Y Espectrofotómetro (D)	54
<b>Anexo 2.</b> Equipo Utilizado, Agitador Magnético (A), Desecador (B), Equipo De Filtrado (C) Y Balanza Analítica (D).	55
<b>Anexo 3.</b> Equipo Utilizado, Balones Aforados (A), Horno (B), Plantilla Y Condensadores (C) Y Recipiente De Cuarzo Para Muestra En Espectrofotómetro (D)	56
<b>Anexo 4.</b> Preparación De Muestras, Muestras Obtenidas Del Lavado (A), Solución De Azometina (B), Preparación De Curva De Referencia De Boro (C) Y Muestra En Reposo (D).	57
<b>Anexo 5.</b> Almacenamiento De Muestras (A) Y (B), Muestras En Desecador (C)	58
<b>Anexo 6.</b> Plantilla De Toma De Datos En El Laboratorio	59
<b>Anexo 7.</b> Fotografías De La Prueba Visual De Presencia De Boro.	59
<b>Anexo 8.</b> Uso De La Aplicación “Imagej”, Para Cálculo De Área Y Distancia.	60

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad la madera es utilizada para la construcción de edificaciones y muebles, ya que, por su origen biológico se trata de un material renovable que, además, permite una manipulación y trabajabilidad poco compleja. Debido a su origen biológico y su naturaleza química, la madera debe ser protegida, porque esta se degrada con la exposición al ambiente (Ibáñez, 2012).

Entre los agentes de degradación que se reportan en la literatura, se tiene la radiación tanto ultravioleta como infrarroja, la humedad, agua de lluvia, organismos xilófagos como hongos, insectos y perforadores marinos, siendo los dos últimos mencionados los que mayores pérdidas económicas causan.

Para evitar en la medida de lo posible el biodeterioro se han implementado métodos o técnicas de preservación, Rosato (2021) define preservación de madera como cualquier técnica que utilice sustancias protectoras contra agentes ambientales destructores. También, menciona que utilizar sustancias protectoras tiene como ventaja que da un valor económico mayor a especies que son de poco valor ecológico y económico a causa de su durabilidad natural. Rosato (2021), dice que la durabilidad es la propiedad de permanencia de la estabilidad física y química contra la acción de agentes degradantes a lo largo del tiempo, que a su vez la durabilidad depende de características como albura, duramen, anatómicas, ambiente en que se desarrolla y biología de los organismos xilófagos en el hábitat donde se desarrolló.

Los preservantes, según Rosato (2021) y Ávila et al (2012), para que sean considerados como buenos, deben cumplir características como ser tóxico solo para agentes degradantes, no corrosivo para metales, no ser fuente de combustión, buena penetrabilidad en el material, químicamente estable, no descomponerse en el tiempo, no ser soluble en agua y tener buena permanencia; sin embargo, ningún producto que se comercialice reúne todas las características. Por esta razón, la elección del preservante debe ser de acuerdo con el uso que se le vaya a dar a la madera. Entre los preservantes que se encuentran en el mercado se distinguen entre ellos principalmente por su método de aplicación, ya que se puede aplicar por impregnación, por inmersión o por aplicación superficial; en este caso, los preservantes

utilizados contra agentes bióticos son aplicados por medio de impregnación o inmersión (Rosato, 2021) y (Vásquez et al, 2005).

Uno de los preservantes más utilizados son las sales de boro, ya que, los compuestos de boro no causan ningún tinte en la madera, son tóxicos para insectos y hongos. Además, inicialmente se utilizaba por su capacidad de retardar el fuego. Sin embargo, se debe utilizar en lugares secos y en interiores para evitar la lixiviación del químico a causa de la humedad (Ibáñez et al, 2012).

Históricamente en Costa Rica se ha utilizado la madera proveniente de bosques para construcción de viviendas, otras edificaciones y como fuente de energía. La cultura indígena del país ha sido pionera en el uso de la madera, aun con limitaciones tecnológicas para procesamiento de madera y su preservación, ellos a lo largo del tiempo han utilizado la madera de manera artesanal para creación de chozas y palenques (Camacho & Salas, 2015).

En la Oficina Nacional Forestal se reporta que actualmente las fuentes de madera provienen no solo de bosque manejados, sino que de plantaciones y de sistemas agroforestales, donde su uso varía entre construcción, muebles, tarimas y exportación (ONF, 2019). Sin embargo, el uso de la madera para construcción de viviendas ha disminuido, debido a la percepción errónea que se cree de la madera, como, por ejemplo, su estabilidad estructural y principalmente su susceptibilidad al deterioro por agentes degradantes; lo anterior causa que, al buscar la mayor protección a la madera, los costos sean elevados y los consumidores prefieran optar por materiales sustitutos de la madera que sean económicos y con mayor durabilidad (FSC, 2018).

Por lo anterior, se ha incentivado a la construcción con madera; y, por ejemplo, la Oficina Nacional Forestal menciona que la madera es un material que arquitectónicamente combina color, formas y texturas para crear ambientes que crean tranquilidad y estética, además, la construcción con madera es moderna, segura y es un material amigable al ambiente ONF, 2019). Dada las ventajas de su uso, se ha implementado la madera como material constructivo en viviendas de interés social en territorios indígenas en el proyecto llamado “Mejoramiento del diseño arquitectónico, estructural y del uso de materiales utilizados en la construcción de viviendas de interés social para la Territorio Indígena de Cabagra, Buenos Aires, Puntarenas”, que utiliza fondos de CONARE y tiene como objetivo sustituir el uso de

concreto en las viviendas para que se adapten mejor al clima, a las condiciones geográficas y a las tradiciones de la cultura indígena (Blog Tec, 2021).

Sin embargo, para la construcción con madera en Costa Rica, se debe seguir ciertas normas dadas por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, INTECO, donde establece en la Norma “INTE C345:2019 Preservación de madera”, las condiciones de servicio para categorías de riesgo de uso de la madera para construcción, además, establece los requisitos de penetración y retención de acuerdo con el tipo de preservante utilizado. También, en la Norma “INTE C 397: 2020”, establece como realizar la medición de la penetración de preservantes y la Norma “INTE C 396:2020” para determinar la retención de preservante en la madera y otros componentes activos.

Por lo tanto, la madera utilizada para construcción de viviendas del proyecto “Mejoramiento del diseño arquitectónico, estructural y del uso de materiales utilizados en la construcción de viviendas de interés social para la Territorio Indígena de Cabagra, Buenos Aires, Puntarenas”, debe ser preservada y para su interior se recomienda el uso del Boro como preservante. Así mismo, el objetivo del presente estudio es determinar la difusión de las sales de boro en la preservación de madera de las cuatro especies forestales más utilizadas en el proyecto de construcción de viviendas debido a su disponibilidad, las cuales son *Dipteryx panamensis* comúnmente llamado Almendro, *Gmelina arborea* conocida como Melina, *Tectona grandis* conocida como Teca y finalmente *Terminalia amazonia* conocida como Amarillón.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la difusión y retención de sales de boro en la preservación de madera de cuatro especies forestales provenientes de plantaciones utilizadas en la construcción de viviendas en Costa Rica.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la retención máxima de sales de boro en la preservación de la madera aserrada de cuatro especies forestales provenientes de plantaciones.
- Proponer modelos de difusión de sales de boro en la preservación de la madera aserrada de cuatro especies forestales provenientes de plantaciones.
- Establecer coeficientes de difusión de sales de boro para cada una de las especies de madera aserrada seleccionadas.



### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 GENERALIDADES DEL BORO

##### 3.1.1 Historia del elemento boro

El boro es un elemento que se encuentra naturalmente en grandes depósitos de boratos principalmente donde hubo vulcanismo, además, se encuentra en la corteza terrestre ya que tiene afinidad con el oxígeno, aunque de manera escasa (Química ES, s.f.). Fue descubierto por Sir Humphrey Davy en 1808, aunque no reconoció el boro como un nuevo elemento pudo obtenerlo con una pureza de 50%; luego en 1824 Jöns Jacob Berzelius reconoce al boro como un elemento y en 1909 William Weintraub produjo boro por primera vez (Cosme, 2021).

Desde la antigüedad se han utilizado los compuestos boro, por ejemplo, en el antiguo Egipto se utilizaban minerales para la momificación que incluyen boratos; en China y Roma se usaba para crear cristales y posteriormente en el siglo VII se usaban en procesos de refinación de oro y plata (Mascarell, 2019).

##### 3.1.2 Características del elemento boro

En la tabla periódica se encuentra con el símbolo “B” y tiene un número atómico de 5 y su masa de 10,811. Se clasifica como elemento metaloide ya que posee propiedades de los elementos metálicos y de los no metálicos, es un semiconductor y es el único elemento que se encuentra en el grupo 13 de la tabla periódica que es un no metal (Cosme, 2021).

Existen alótropos del elemento, el amorfo como polvo marrón y el metal que es un sólido de color negro azabache o gris plateado; además, se relaciona con el bórax creando un cristal blanco y suave soluble en agua y que comercialmente se conoce como sales de boro (Química ES, s.f.). En su estructura elemental, tiene una compleja forma que brinda espacios vacíos en los orbitales, siendo el único no metal que tiene más orbitales de valencia que electrones, esta característica hace que sea atractivo para los electrones y pueda comportarse como ácidos de Lewis (Mascarell, 2019).

Entre sus propiedades físicas, se menciona que es un polimórfico fuerte que tiene formas de gemas de color rojo con estructura alfa romboide, gemas oscuras con estructura beta romboide, gemas oscuras brumosas con brillo a tendencia metálica con una estructura tetragonal alfa (Cosme, 2021). También existe una forma de polvo nebuloso con color terroso oscuro o terroso amarillo. Posee una densidad baja entre 2,31 a 2,46 dependiendo de la forma. Tiene una extrema dureza (puede rayar el rubí). Su punto de ebullición es de 4000 °C y el punto de fusión es 2300 °C (Cosme, 2021). Tiene como característica óptica la transmisión de radiación infrarroja y a altas temperaturas puede conducir la electricidad (Mascarell, 2019).

Entre sus características químicas se destaca la capacidad de formar redes moleculares con enlaces covalentes estables y tiene Óxidos e Hidróxidos como minerales, además, no es soluble en amoníaco (Cosme, 2021). Reacciona con el oxígeno para sintetizar ácido bórico, de manera directa con los no metales y también con la mayoría de los metales; la reactividad depende de su estado de pureza, cristalinidad y temperatura (Mascarell, 2019).

De manera elemental el boro no se puede encontrar, proviene de depósitos naturales de boratos y se obtiene boro amorfo impuro, se debe aplicar algunos métodos para purificarlo, como, por ejemplo, propiciando la reacción con un ácido mineral o aplicando calor (Química ES, s.f.).

### **3.2 USOS DEL BORO**

Comercialmente el más utilizado es el bórax ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) que se puede utilizar en la manufactura de vidrios resistentes al choque térmico ya que tiene la particularidad de expansión térmica y evita la ruptura del vidrio, además, su fácil trabajabilidad a nivel industrial. El bórax fue utilizado como agente de limpieza que posteriormente se sustituyó por el peroxoborato, que tiene propiedades blanqueadoras en detergentes y se obtiene agregando Peróxido de hidrógeno al bórax (Mascarell, 2019).

El ácido bórico tiene importancia en productos textiles, es usado como lubricante y también forma parte de aditivos que se usan para la preservación de madera y también como

lubricante; su obtención es producto de reacción de hidrólisis en compuestos de boro (Mascarell, 2019).

Entre otros usos importantes se mencionan los hidruros de boro, que tienen facilidad de oxidación liberando energía y se considera una opción de combustible. Además, se considera crear un combustible a partir de hidrógeno y borohidruro (Cosme, 2021).

### **3.3 EL BORO COMO PRESERVANTE DE MADERA**

Los preservantes según Vaca de Fuentes (1998) deben tener una toxicidad mínima para impedir la actividad de agentes degradantes de la madera, además, deben ser solubles en los líquidos de las células de xilófagos para que tenga efecto en ellos. Para que el preservante tenga una efectiva penetración se debe tomar en cuenta el contenido de humedad, la porosidad de la madera y viscosidad del producto preservante (Vaca de Fuentes, 1998) y (Ávila et al, 2012).

Luego de que el preservante penetra la madera, se busca la mayor permanencia a lo largo del tiempo, esto ocurre gracias a componentes del preservante que se fijan dentro de la madera. Naturalmente, algunas especies tienen baja porosidad, alto peso específico o sucede que los conductos tienen gomas o resinas y provoca impermeabilidad y dificultad en la impregnación (Vaca de Fuentes, 1998) y (Junta del acuerdo de Cartagena, 1988).

Los preservantes se pueden clasificar en creosotas, orgánicos e inorgánicos; en este caso, las sales de boro se clasifican como un producto inorgánico (Vásquez et al, 2005). Los compuestos de boro han sido muy utilizados en la preservación de la madera, inicialmente se aplicaban como retardante de llama, luego se descubrieron otras características como la toxicidad para los insectos y hongos y que además no tiñen la madera, esto permite utilizar tintes, barnices, pinturas o simplemente dejar color natural a la madera sin tener un cambio en la apariencia (LEMIT, 2017).

Se aplica generalmente en madera que no vaya a estar en contacto con el suelo y con la humedad, además, su solubilidad ayuda a preservar maderas a las que se dificulta preservar con otras sustancias a base de zinc y cobre. Según las características de los preservantes con

boro, se han desarrollado estudios en la combinación de este elemento para ampliar la eficacia contra el deterioro de la madera y aumentar su protección (Obanda et al, 2008). La combinación de productos a base de boro puede incluir sales de boro, trihidróxido de boro conocido como ácido bórico y el tetraborato de sodio; estas combinaciones con sus capacidad de difusión, logran la distribución uniforme del preservante con relación al contenido de humedad, logrando además, que sus propiedades inodoras, incoloras e incombustibles se intensifique (Sotomayor et al, 2016), por otra parte, los compuesto de boro puede provocar corrosión, por lo que se recomienda mezclar con ácido bórico o bórax (Vaca de Fuentes, 1998).

### **3.4 EL BORO Y SU LIXIVIACIÓN**

El uso de sales de boro como preservante tiene la característica de que se disuelven en contacto con el agua, esto se conoce como lixiviación; el agua presente en el interior de la madera provoca la migración del boro. Para disminuir la lixiviación del boro se ha propuesto generalmente, tratamientos térmicos, donde se busca disminuir la higroscopicidad, se ha implementado el densificado de la madera para disminuir tejido leñoso y también se ha realizado impregnación con vapor (Sotomayor et al, 2016).

### **3.5 MÉTODOS DE PRESERVACIÓN**

Los tratamientos de preservación de la madera pueden ser a presión o sin presión, también algunos se pueden utilizar tanto para preservantes hidrosolubles y en oleo solubles. Entre los procesos sin presión se tiene el brochado, inmersión, ascensión y baño caliente - frío y entre los procesos a presión se encuentran los más utilizados Bethell, Rueping y Lowry. Sin embargo, para las sales de boro los más utilizados son los métodos sin presión como el brochado, la inmersión, ascensión y podría aplicarse a presión con el método Bethell (Vaca de Fuentes, 1998), (Vásquez et al, 2005) y (Peraza, 2001).

### 3.5.1 Método de aplicación con brocha.

Es un método bastante sencillo donde se aplica preservante con la ayuda de una brocha o pulverizador, es muy utilizada en madera ya en servicio o en uso, con este método se alcanza poca penetración, por lo que es recomendado repetir la aplicación del producto (Vaca de Fuentes, 1998), (Ávila et al, 2012) y (Peraza, 2001).



Figura 1. Preservación de madera con el uso de brocha. (Fuente Madera 21, 2020).

### 3.5.2 Método de inmersión

Es utilizado tanto para preservantes oleo solubles como en hidrosolubles, se trata de sumergir la madera en un recipiente donde quede cubierta de preservante. La inmersión puede ser instantánea o caliente (Ávila et al, 2012).

La inmersión instantánea consiste en sumergir la madera verde en el recipiente con el preservante y luego esas piezas serán envueltas en un plástico con el fin de evitar la evaporación y el paso del aire, además, permite que el preservante difunda. La difusión dependerá del espesor de la madera, el contenido de humedad, peso específico, concentración del preservante, tiempo y coeficiente de difusión (Vaca de Fuente, 1998).

La inmersión caliente, se utiliza generalmente cuando la madera se va a utilizar en la construcción, las piezas se colocan dentro del tanque con preservante caliente, esto para acelerar la difusión (Vaca de Fuentes, 1998).



Figura 2. Preservación por inmersión (Fuente CSCAE, s.f.).

### 3.5.3 Método de ascensión

En este método se colocan postes en un tanque con la solución preservante para que ascienda por capilaridad con ayuda de la evaporación de agua de la madera. Se requiere que el contenido de humedad sea alto y la duración de la preservación varía con la temperatura, dimensiones y densidad de la madera tratada (Vásquez et al, 2005).



Figura 3. Preservación con el método de ascensión (Fuente Calderón A, 2018).

#### 3.5.4 Método de baño caliente - frío

Aquí se utilizan preservantes oleo solubles, ya que los hidrosolubles se descomponen al ser calentados a más de 45 °C. El método consiste en calentar la madera para que el aire contenido se expanda y salga, luego mientras ocurre el enfriamiento se produce vacío que ayuda a la penetración del preservante (Vaca de Fuentes, 1998).

#### 3.5.5 Procesos a presión

Con la presión se tiene la ventaja que se puede graduar las condiciones en las que se va a preservar, así se puede variar la penetración del producto según la finalidad de la madera. Generalmente, este proceso se realiza en autoclave, requiere de bombas, válvulas, reservorios y un equipo de control; esa inversión es costosa, por lo que no es un servicio que se encuentre en cualquier depósito o aserradero (Vaca de Fuentes, 1998) y (Vásquez et al, 2005).

Entre los tratamientos que más se utilizan se encuentra el Bethell, es el más conocido, en el procedimiento de impregnación básicamente primero se elimina el aire contenido en la madera y cilindro, luego se va agregando la solución preservante hasta llenar la autoclave, se aplica presión constante hasta que la madera tenga la retención deseada y finalmente se devuelve el preservante al almacenamiento y se aplica vacío para retirar el exceso de la

solución. Otro proceso utilizado es el Rueping, este se utiliza principalmente para preservantes oleo solubles, en el procedimiento primero se aplica presión de aire a la madera y luego se aplica el preservante caliente llenando la autoclave, de esta forma el aire se inyecta en la madera. Y finalmente, otro proceso muy conocido es el Lowry, en este se logran bajas absorciones y principalmente se usa para madera permeables, en el proceso primero se coloca la madera en un cilindro y luego se llena con preservante a presión atmosférica, luego se aumenta la presión y se bombea el preservante al almacenamiento y se hace vacío para extraer el exceso de preservante y secar la madera (Vaca de Fuentes, 1998) y (Vásquez et al, 2005).



Figura 4. Ejemplo de preservación a presión con el uso de autoclave (Fuente ISVE Wood, s.f.).



### 3.6 MECANISMOS DE ACCIÓN DEL BORO UTILIZADO COMO INSECTICIDA

El boro, según Valderrama y Pinto (2016) específicamente el ácido bórico se utiliza como antiséptico, insecticida, fungicida y además funciona como retardante de llama, sin embargo, ellos dan énfasis en el uso como plaguicida en hormigas y cucarachas, siendo aplicado como cebo. El principio activo utilizado en la formulación de cebos es el bórax al 99,9%; en organismos vivos la acumulación de boro en exceso puede abandonar el cuerpo por medio de la orina y en las 24 horas siguientes hasta los 4 días se puede encontrar o detectar la presencia de boro (Valderrama y Pinto, 2016).

En el medio ambiente, el ácido bórico puede ser encontrado en el suelo dependiendo de la textura de éste y su humedad, ya que con presencia de lluvias el ácido bórico puede ser lixiviado rápidamente, sin embargo, si no hay humedad puede estar en el suelo por hasta un año aproximadamente. Para el ser humano, cuando se tiene poca exposición podría darse irritación en ojos, piel, tracto gastrointestinal y puede afectar el sistema respiratorio, pero es importante destacar que, aunque el ácido bórico ingresa principalmente por inhalación y por ingestión, para el ser humano representa poco peligro y se reporta baja toxicidad (Valderrama y Pinto, 2016).

El mecanismo de acción del boro como insecticida en artrópodos del orden Blattodea, tiene un efecto esterilizante o dificulta los procesos reproductivos. En el caso de las cucarachas, daña la cutícula, les causa heridas leves en el epitelio del intestino medio provocando la muerte ya que interfiere en la absorción de nutrientes o también se ha encontrado que tiene un efecto reductor cuticular de lípidos y las diseca. Además, en las ninfas acelera la muda provocando la muerte (Valderrama y Pinto, 2016) y (Hernández, 2013).

En el caso de las termitas *Cryptotermes sp* y *Coptotermes sp*, se han realizado pruebas donde se encuentra que las termitas en presencia de boro podrían tardar de 21 a 23 días en morir de hambre ya que optan por no ingerir de la madera con el preservante. Además, para el caso de cuando ingieren de la madera, se requiere de un mínimo del 1% de ácido bórico equivalente (%BAE) para causar su muerte aproximadamente a los 15 días y se demostró que con la concentración al 2% se puede reducir el tiempo a 3 o hasta días (Ahmed, 2000). A

continuación, se muestra un resumen de la concentración mínima obtenida en la prueba realizada por Ahmed (2000).

Cuadro 1. Toxicidad mínima encontrada para dos especies de termitas con el compuesto de boro con mayor resultado.

<b>Especie</b>	<b>Especie maderable utilizada en la prueba</b>	<b>Compuesto usado</b>	<b>Toxicidad mínima Ácido Bórico Equivalente (BAE %) m/m</b>	<b>Ácido bórico al 1% BAE</b>
<i>Cryptotermes sp</i>	<i>Pinus radiata</i>	Bórax	0.85 - 1	1.005g ácido bórico en 48.995 g agua
	<i>Eucalyptus sp</i>			
<i>Coptotermes sp</i>	<i>Pinus radiata</i>	Ácido bórico	0.56 - 1.09	1.005g ácido bórico en 48.995 g agua
	<i>Eucalyptus sp</i>			

(Fuente Ahmed, 2000).

Sin embargo, Cisternas (2019), aunque reconoce la efectividad del boro como inhibidor del ataque de las termitas, propone un nuevo preservante para realzar las características insecticidas del boro, donde incluye el uso de lignina, quitosano, nanopartículas de cobre, boro y silicio para mayor eficacia en termitas.

### **3.7 SALES DE BORO COMO PRESERVANTE EN COSTA RICA**

En Costa Rica, los usos más comunes de la madera es para construcción interna, mueblería, carpintería, columnas, cercas, postes y en algunas zonas del país se utiliza para pilotes para muelles, para estos usos se recomienda preservar la madera a utilizar, por esta razón se ha creado una norma donde se especifican estos usos, los posibles agentes degradantes y además se establece la retención mínima que debe tener la madera según el preservante a utilizar y a cual categoría de riesgo se puede aplicar (INTECO, 2019a). Además, el método más utilizado para la preservación con sales de boro es la inmersión-difusión (Moya et al, 2021).

Las normas establecidas para la preservación de maderas son dadas por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO); esta es una entidad privada sin fines de lucro, que tiene como Misión “brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor”. Entre las normas establecidas para la preservación de madera se tiene la INTE C 345:2019 (Preservación de madera. Clasificación según su uso y riesgo en servicio), la PN INTE C397:2020 CP (Preservación de madera. Medición de penetración del preservante) y la PN INTE C396: 2020 CP (Métodos de ensayo para determinar la retención de preservantes y en contenido de componentes activos en los preservantes).

A continuación, se presenta el cuadro brindado por INTECO para la clasificación de servicio de la madera por categoría de riesgo:

Cuadro 2. Categoría de riesgo para la madera preservada, brindada por INTECO.

<b>Categoría de riesgo</b>	<b>Condiciones de servicio</b>	<b>Ambiente de uso</b>	<b>Agentes comunes de deterioro</b>	<b>Aplicaciones comunes</b>
<b>CR1 INTERIOR/ SECO</b>	Construcción interna Sobre el suelo, seco	Protegida continuamente del ambiente u otra fuente de humedad	Únicamente insectos	Construcción interna y mueblería
<b>CR2 INTERIOR/ HUMEDO</b>	Construcción interna Sobre el suelo, ocasionalmente húmedo	Protegida del ambiente, pero puede estar sujeta a humedad ocasionalmente	Hongos de descomposición e insectos	Construcción interna
<b>CR3 SIN CONTACTO CON EL SUELO</b>	Construcción extrema sin cubierta Con o sin recubrimiento	Expuesta a todos los ciclos climáticos, incluido el humedecimiento frecuente	Hongos de descomposición e insectos	Carpintería revestida o sin recubrir, molduras, terrazas (decks), barandas, vigas, viguetas y columnas para terrazas y muelles de agua dulce y tablas para cercas Cercas de madera aserrada, postes de barandas cimientos permanentes de madera, postes aserrados para horticultura, postes para construcción, pilotes redondos o aserrados para fundación de muelles en agua dulce, traviesas y postes de servicios públicos y traviesas.
<b>CR4 EN CONTACTO CON EL SUELO</b>	Contacto con el suelo o agua dulce	Expuesta a todos los ciclos climáticos incluido el humedecimiento continuo o prolongado, elevado potencial de deterioro incluye salpique de agua salada	Hongos de descomposición e insectos con alto potencial por biodeterioro	
<b>CR5 USO MARINO</b>	Agua salada o salobres y zonas pantanosas adyacentes	Expuesta continuamente al agua salada (marina)	Organismos de agua salada Incluyendo <i>Martesia</i> , <i>Sphaeroma</i> , <i>Limnoria tripunctata</i>	Pilotes para muelle, tablestacado, tensores de muelle

(Fuente INTECO, 2019a).

El uso del boro como preservante se recomienda en madera que se vaya a utilizar en construcción interna, sin embargo, no se recomienda que se encuentre en contacto con la humedad o directamente con el suelo, ya que el boro se puede lixiviar en estas condiciones, tomando en cuenta lo anterior y la información de la tabla dada por la norma de INTECO, se puede decir que la madera preservada con boro para la construcción se encuentra en la categoría de riesgo CR1 interior/ seco y podría permitirse la CR2 interior/ húmedo ya que habría exposición a la humedad ocasionalmente. En esas categorías se protege a la madera de agentes degradantes como insectos y hongos de descomposición (INTECO, 2019a).

Cuadro 3. Retención mínima establecida según el preservante a utilizar por categoría de riesgo o servicio de la madera.

#	Nombre del preservante	Código	Retención mínima kg/m <sup>3</sup>				
			CR1	CR2	CR3	CR4	CR5
1	Arseniato de cobre cromatado	CCA-C1	4,0	4,0	6,4	9,6	40
2	Arseniato de cobre y zinc amoniacado	ACZA	4,0	4,0	6,4	9,6	40
3	Boratos (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	SBX (DOT)	4,5	4,5	NR	NR	NR
4	Cobre azole micronizado	MCA	1,0	2,4	5,0	5,0	NR
5	Creosota	Creosota	NR	NR	128	256	400
6	Creosota + CCA	Dual	NR	NR	NR	NR	320 + 20
7	Naftenato de cobre (Cu)	CuN	0,6	0,6	1,2	1,2	NR

**Nota:**

NR= No recomendado

1 El uso de CCA-C está restringido según la reglamentación nacional vigente (Ver el “Reglamento para el registro, importación y etiquetado de preservantes de uso industrial para el tratamiento de maderas” vigente)

(Fuente INTECO, 2019a).

En el cuadro anterior (cuadro 3), se especifica la retención mínima que debe cumplir la madera preservada de la sustancia preservante, en este caso de estudio, se observa que para el uso de boratos se recomienda una retención mínima de 4,5 kg/m<sup>3</sup> para las categorías de servicio CR1 y CR2.

En “INTE C345:2019”, se describe también algunas recomendaciones de seguridad para manipular la madera una vez preservada:

- Evitar la inhalación frecuente del aserrín de la madera tratada.
- Utilizar equipo de seguridad, anteojos y guantes.
- Lavar las partes del cuerpo expuestas, después de trabajar con la madera tratada y lavar la ropa antes de volver a usarla.
- Y, además, la madera preservada no debe quemarse en hornos o chimeneas ya que se puede producir químicos tóxicos.

En cuanto al almacenamiento, se recomienda:

- Si la madera está húmeda, se puede aplicar anti-mohos y plaguicidas.
- Si la madera está húmeda se debe apilar cuidadosamente y de manera correcta para evitar torceduras.
- Y si alguna madera está infectada con hongos o insectos, no se debe almacenar en conjunto a la demás madera.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en los laboratorios de química de la madera, anatomía de la madera y de tableros de la Escuela de Ingeniería Forestal en el campus central del Tecnológico de Costa Rica (TEC), ubicado en la provincia de Cartago, Costa Rica. La temperatura del sitio puede variar de 13°C a 25°C.



Figura 5. Ubicación del sitio donde se hizo el trabajo. (Fuente elaboración propia)

## 4.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS

Se utilizó madera de las especies de *Tectona grandis* (teca), *Gmelina arborea* (melina) y *Terminalia amazonia* (amarillón), que provienen de plantaciones de la zona sur del país y son distribuidas y comercializadas por el aserradero “Maderas S & Q” que ofrece un abastecimiento para la construcción de viviendas del proyecto y está ubicada en Pérez Zeledón, San José, Costa Rica. Además, se utilizó *Dipteryx panamensis* (almendro) proveniente de Turrialba, Cartago, Costa Rica.

## 4.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Las trozas de madera fueron aserradas para obtener bloques y piezas en el aserradero “Maderas S & Q”, con el fin de obtener las piezas como comúnmente se comercializa y realizar los estudios. Esas piezas, posteriormente son cortadas con las sierras disponibles en el Laboratorio de maderas de la Escuela de Ingeniería Forestal del TEC, a una dimensión de 2 cm de espesor, 5 cm de ancho y 30 cm de largo.

Las piezas obtenidas se dividieron para ser tratadas en condición verde a un Contenido de humedad (CH%) al 21% y en condición seca con un Contenido de humedad (CH%) de 12%.

Se obtuvieron:

14 piezas de Almendro, de las cuales se utilizó 7 en condición verde y 7 en condición seca.

14 piezas de Melina, de las cuales se utilizó 7 en condición verde y 7 en condición seca.

14 piezas de Teca, de las cuales se utilizó 7 en condición verde y 7 en condición seca.

14 piezas de Amarillón, de las cuales se utilizó 7 en condición verde y 7 en condición seca.

A cada una de las muestras se le dio un código de nombre, se midió el largo (cm), el ancho (cm) y el espesor (cm), además, se obtuvo el peso inicial (g) antes de realizar la preservación y luego se obtuvo el peso final (g).



#### 4.4 EQUIPO E INSUMOS:

- Ácido bórico.
- Bórax.
- Agua destilada.
- Alcohol etílico.
- Cúrcuma.
- Ácido clorhídrico (HCl).
- Ácido salicílico.
- Azometina -H.
- Ácido ascórbico.
- Acetato de amonio.
- Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA).
- Ácido acético.
- Balanza analítica, marca A & D 202i.
- Agitador magnético, marca Corning PC-351.
- Crisol de porcelana.
- Desecador.
- Embudo Büchner.
- Erlenmeyer.
- Papel filtro.
- Guantes de látex.
- Pipeta.
- Piseta.
- Placa de Petri.

- Tubos de ensayo.
- Balón de destilación.
- Probeta.
- Beakers.
- Espectrofotómetro, marca Jasco V-630.
- Bolsa de empaque pequeña.
- Tamiz # 40 y #60, marca Fisher Scientific Company.
- Horno, marca Lab Mechanics Precision.
- Sierra cinta, marca Rockwell/Delta.
- Molino pequeño, marca Perten, Laboratory Mill LM 3100.

#### **4.5 MÉTODO DE PRESERVACIÓN**

Se utilizó una disolución de boro con una concentración de 48 g de ácido bórico ( $H_3BO_4$ ) y 72 g de bórax ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) en un litro de disolución a una temperatura de 22°C. Se obtuvo un total de 94,75 g de boro para la solución con la que se realizó la preservación.

Para la preparación de la solución preservante, se mezclaron las dos sales en seco, luego poco a poco se agregó agua mientras se iba agitando, hasta disolver completamente las sales hasta el punto de saturación.

Cada pieza de madera se sumergió en la disolución por un minuto, luego se extrajo y se envolvió en plástico para impedir la circulación de aire para que el proceso de difusión comience.

A cada muestra (pieza de madera) se le realizó una determinación visual de la profundidad alcanzada del preservante y se extrajo una muestra para la determinación de retención real con el método utilizando azometina- H. Tanto la determinación visual como la extracción de la muestra se realizó cada 3 días hasta completar un ciclo de 18 a 25 días según el comportamiento de la especie.

## **4.6 DETERMINACIÓN VISUAL DE PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DEL PRESERVANTE (COLORIMETRÍA)**

Luego de realizada la preservación, se determinó la penetración utilizando disoluciones indicadoras en el laboratorio de química de la madera de la Escuela de Ingeniería Forestal.

Se hizo un corte transversal a cada pieza de madera tratada y se aplicó las sustancias indicadoras.

Las soluciones indicadoras, según la norma INTE C397:2020, para preservantes con Boratos, se utilizan una solución A y una solución B, compuestas de:

Solución A: 10 g de cúrcuma y 90 g de alcohol etílico.

Solución B: 20 ml de Ácido clorhídrico (HCl) diluido en 100 ml de alcohol etílico y luego se agrega 13g de ácido salicílico

### 4.6.1 Procedimiento

El procedimiento fue preparar la superficie para que esté lisa, ya que los resultados son mejores que en superficie rugosa y luego se aplicó un rociado de la solución A y se esperó aproximadamente 1 minuto para aplicar un rociado de la solución B, luego se esperó aproximadamente 3 minutos para que la reacción entre soluciones llegue al máximo, observando cuidadosamente los cambios que van ocurriendo en la coloración de la muestra. De esta manera, da como resultado que el área de la muestra que tiene boro la coloración se torna roja.

### 4.6.2 Muestras

De este ensayo, se tomaron fotografías para analizar posteriormente cada muestra, en la fotografía se incluye una regla en centímetros para la calibración de la escala en la aplicación que se utilizó en la computadora para el análisis. Se utilizó la aplicación “ImageJ”, donde

primero se selecciona la fotografía que se quiere analizar, luego se seleccionó “set scale” para calibrar la escala según la medición que se tiene con la regla aproximadamente a un centímetro, luego, en el menú se selecciona el polígono para obtener el área impregnada (cm<sup>2</sup>) y la línea o flecha para medir la distancia de difusión (cm) en cada uno de los lados de la pieza; esto se realizó para todas las muestras (anexo 8). Además, con las fotografías es posible visualizar la distribución del preservante en la pieza tratada.

#### **4.7 DETERMINACIÓN DE LA RETENCIÓN REAL CON EL MÉTODO DE AZOMETINA-H**

Con la determinación de la profundidad de la penetración del preservante, se realizó un corte en la profundidad obtenida y se determinó la cantidad real de retención por medio del método químico utilizando la azometina-H.

##### 4.7.1 Procedimiento

Primero, el corte que se obtuvo se dividió en cortes más pequeños con ayuda de la sierra cinta (Rockwell/Delta), esas piezas de muestra se llevaron al molino pequeño (Perten, Laboratory Mill LM 3100) en el laboratorio de tableros, cada muestra de pequeñas partículas se guardó en una bolsa de empaque y se rotuló con su respectivo nombre, a partir de ahí, se llevaron al laboratorio de anatomía de la madera para su siguiente prueba.

Luego, cada muestra de partículas se tamizó con un tamiz # 40 y # 60, esto para descartar el polvo obtenido del molino. Luego, se pesó aproximadamente 1 gramo de cada muestra en la balanza analítica y se colocó en un balón de destilación. Se agregó 50 ml de agua destilada medidos en una probeta a cada balón y se colocaron en la plantilla con su respectivo condensador para hacer un lavado de la muestra, aproximadamente 30 minutos a partir de su ebullición, se separaron del condensador y se dejó enfriar.

#### 4.7.2 Filtración

Se filtró la muestra utilizando un embudo Büchner y un Erlenmeyer, además fue necesario el uso de papel filtro rotulado con cada código de muestra y llevado al horno a 60 °C por 30 minutos y pesado, para luego conocer el peso final de la muestra.

En el proceso de filtración se obtuvo dos resultados, uno con partículas sólidas en el papel filtro que se colocó en placas de Petri y fue llevado al horno a 60 °C por 24 horas, para obtener el peso final en gramos; el otro resultado fue la sustancia líquida en el Erlenmeyer que se vierte en un tubo de ensayo para su almacenamiento.

### **4.8 DETERMINACIÓN DE ABSORBANCIA CON EL ESPECTROFOTÓMETRO**

#### 4.8.1 Curva de absorbancia de boro como referencia

En esta prueba se midió la absorción de luz, para eso primero se debió preparar una solución madre para obtener una curva de soluciones de boro que son conocidas y que sirve como referencia para las mediciones de las muestras a tratar. Esa solución madre se preparó con 0,5715 g de ácido bórico en un litro de agua; esta solución se diluyó en 2,4,6,8,10 y 12 partes para obtener la curva de referencia.

Además, fue necesaria la preparación de azometina y un amortiguador o “buffer” (para constancia en pH) que se utilizaron tanto para la curva de referencia como para las muestras a evaluar. Para la preparación de 100 ml de azometina se necesitó 1 g de ácido ascórbico, 0,45 g de azometina y 100 ml de agua desionizada. Para la solución “buffer” se utilizaron 62,5 g de acetato de amonio, 3,75 g de EDTA, 31,25 g de ácido acético y 100 ml de agua desionizada.

Para obtener la curva de absorbancia, se preparó una muestra en un tubo de ensayo con 1 ml de cada una de las diluciones de la solución madre, a cada una se le agregó 1 ml de “buffer” y 1 ml de azometina, se agitaron suavemente hasta observar un líquido homogéneo y se dejaron reposar aproximadamente por 25 minutos para que la reacción ocurra. Posterior a eso, se preparó el espectrofotómetro, la medición de la longitud de onda en la solución se

seleccionó a 411 nm y luego se colocó una muestra de agua destilada para dejar en cero a la máquina y continuar con la medición de las demás muestras de la curva.

#### 4.8.2 Preparación de muestras

Se tomó 1 ml de las muestras almacenadas en tubos de ensayo, se agregó 1 ml de “buffer” y 1 ml de azometina, se agitaron suavemente hasta observar un líquido homogéneo y se dejaron reposar aproximadamente por 25 minutos para que la reacción ocurriera. Luego, pasado ese tiempo, se preparó el espectrofotómetro, la medición de la longitud de onda en la solución se seleccionó a 411 nm, se colocó la muestra dentro de la máquina y se obtuvo un valor que posteriormente se compara con la curva de referencia. Este procedimiento se realizó para todas las muestras.

Con esta prueba se obtuvo la absorbancia de cada muestra y con la curva de referencia se calculó su ecuación y fue posible el cálculo de ppm de boro de cada muestra.

### 4.9 ANÁLISIS DE DATOS

#### 4.9.1 Preparación de la base de datos

Se realizó una base de datos en el programa de Microsoft Office Excel, donde se clasificaron las muestras por especie, por condición (verde o seca) y por repetición. Se incluyó la densidad, el peso inicial y final, la absorbancia, las partes por millón y la ecuación de la curva de referencia que se aplicó a cada muestra según corresponda.

También, se incluyó los valores obtenidos en la prueba visual de penetración, esto con el fin de calcular el área y la distancia donde el preservante impregnó. Con la base de datos se calculó la retención del ácido bórico equivalente en relación de peso volumen (ecuación 1) y la retención en su equivalente expresado en kilogramos tomando en cuenta el factor de disolución de la muestra (ecuación 2).

$$BAE \frac{w}{v} \% = \frac{\text{peso molecular del boro elemental}}{\text{peso molecular del compuesto de boro}} \times \text{concentración de solución}$$

(1)

$$\text{Retención (kgB}^2\text{O}_3\text{/m}^3) = \frac{Av \times C}{100} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \text{BAE}$$

(2)

Donde:

Av: Absorción de la solución

C: concentración de la solución de boro (BAE % w/v)

BAE: Ácido bórico equivalente (BAE % w/v)

#### 4.9.2 Propuesta de modelos de difusión y determinación de los coeficientes de difusión.

Para el cálculo de los coeficientes, primero se organizaron los datos en el programa “Excel versión 2019”, por especie, su condición verde o seca, tiempo de medición, densidad, retención del preservante en kilogramos de boro y su retención de ácido bórico equivalente, además, se incluyeron las distancias de la profundidad alcanzada por el preservante y su promedio. A partir de los datos organizados, se realizaron regresiones lineales para analizar la distribución y comportamiento de los datos para cada una de las especies según su condición. En este último, se analizó el comportamiento del espesor (cm) o difusión del preservante ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ) a través de los días de medición; se analizó la retención del ácido bórico equivalente en cada repetición por días y también la relación de la retención en ácido bórico equivalente por el espesor alcanzado.

Se analizó la tendencia de cada muestra con sus repeticiones y se obtuvo la ecuación y su  $R^2$ . Se analizó la pendiente de cada muestra y posteriormente se eligieron las que presentaban mejor tendencia y se obtuvo el promedio por especie y por estado (seco o verde). Una vez con los datos seleccionados para el análisis por su mejor comportamiento, se realizó un análisis con la regresión lineal donde se obtiene una ecuación y un  $R^2$  de forma general, esta tendencia o ajuste se realizó para la estimación del cambio en el tiempo o espesor, es decir,

se buscó observar si en las muestras se predice el comportamiento o si hay factores que influyen en la variabilidad entre ella, siendo por ejemplo de la misma especie con la misma condición.

Posteriormente, para cada una de las muestras, considerando la ecuación lineal (3):

$$y = mx + b$$

(3)

Donde:

m: pendiente de la recta (inclinación), nos muestra el coeficiente.

x: incógnita

b: intercepto con el eje y

se obtuvo el coeficiente (m), la constante de intercepto con el eje “y” (b), y el  $R^2$ . Con estos valores se calculó el coeficiente de difusión promedio para cada especie de madera estudiada, tanto en condición verde como condición seca.

#### 4.9.3 Análisis estadístico

Finalmente, se realizó un cálculo de la desviación estándar, coeficiente de variación y error estándar de las muestras y para la determinación de significancia se realizó una prueba de medias de “Tukey”. Además, se utilizó el programa de análisis estadístico “SAS”, que ayuda a analizar los datos con inteligencia artificial y así poder analizar más detalladamente.

Se hizo un análisis de varianza para cada especie, tomando en cuenta su estado verde o seco, esto con el fin de analizar estadísticamente si presenta diferencia entre ellas. Se realizó un análisis tomando la variable de ácido bórico como dependiente, otro con la profundidad alcanzada, además, se propuso modelos lineales y cuadráticos para las variables para selección el que mejor ajuste en la muestra.



Por la significancia entre muestras, si hay diferencias significativas se representa con la letra “A” quien es mayor en la prueba respectiva y con la letra “B” quien es menor; si no hay diferencias significativas se encuentra dos veces la misma letra “A”.

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1 DETERMINACIÓN DE LA RETENCIÓN MÁXIMA DE SALES DE BORO EN LAS CUATROS ESPECIES ESTUDIADAS EN SU CONDICIÓN VERDE Y SECA.**









#### 5.1.1 Profundidad de penetración del preservante determinado visualmente.

En la prueba de colorimetría aplicando reactivos de contacto con la madera, primero se observó si hubo un cambio de color, esto para determinar si la penetración fue permeable (si hubo cambio de color) o impermeable (si no hubo cambio) (Moya et al, 2021).

Con los resultados de la penetración del preservante en la madera tratada se pudo analizar la distribución del preservante en la pieza según los tipos de penetración mencionados por Vaca de Fuentes (1998) y (Ávila et al, 2012).

A continuación, se muestra los resultados obtenidos de la determinación de la penetración:

Cuadro 4. Representación visual de la penetración de sales de boro en cuatro especies de rápido crecimiento en condición verde y seca a los 21 días de su aplicación.

Especie	Condición verde	Condición seca
<i>Dipteryx panamensis</i>		
<i>Gmelina arborea</i>		
<i>Tectona grandis</i>		
<i>Terminalia amazonia</i>		

(Fuente Elaboración propia)

Según el cuadro anterior, se puede observar que para *D. panamensis*, *G. arborea*, *T. grandis* y *T. amazonia*, tanto en condición verde como seca, hay un cambio en la coloración de la superficie de la muestra, por lo que, según Moya et al, 2021 se cataloga como penetración permeable.

En la sección de control de calidad en la madera tratada del artículo propuesto por Vaca de Fuentes (1998) y Junta del Acuerdo de Cartagena (1988), clasificó los tipos de penetración con colorimetría en total regular, total irregular, parcial regular, parcial irregular, parcial vascular y penetración nula; esta clasificación actualmente es de utilidad y necesaria para los análisis de la madera preservada en industrias. En la siguiente figura se muestra los tipos de penetración clasificados por Vaca de Fuentes (1998):

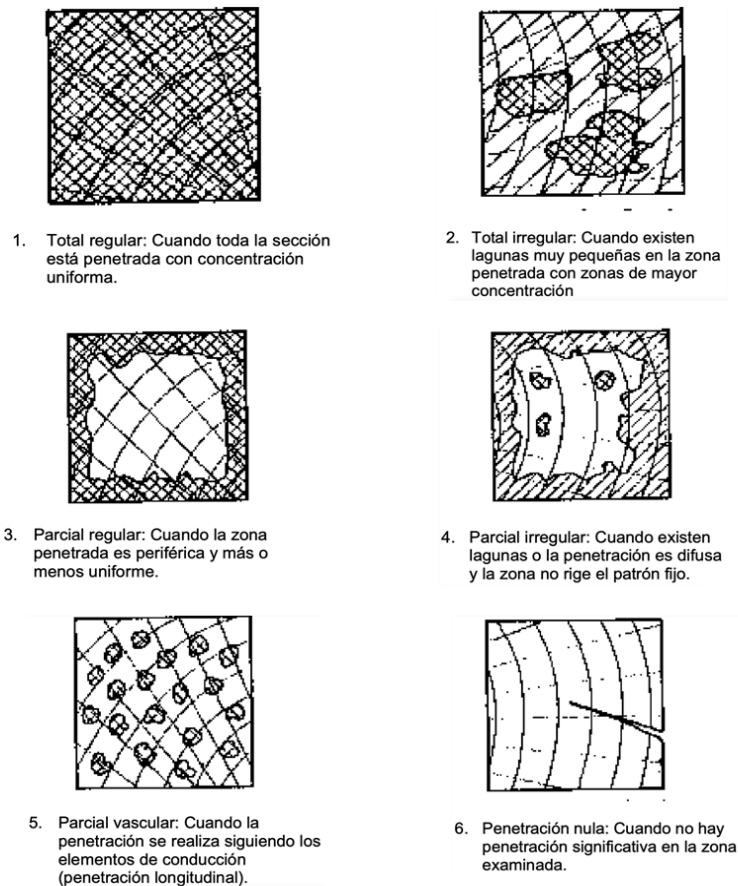


Figura 6. Tipos de penetración del preservante. (Fuente USAID, Bolivia, 1998).

Según lo observado en la figura anterior y comparando con los resultados obtenidos se puede decir que para las cuatro especies la penetración es irregular tanto en condición verde como seca. Para *D. panamensis* se puede decir que en general presenta penetración parcial irregular, donde no se sigue un patrón, pero si se encuentra preservante en la zona del borde; para *G. arborea* se puede observar que presenta la mayor penetración tanto en condición verde como seca, sin embargo, se dice que es irregular ya que se nota lagunas sin preservante pero también, es importante mencionar que toda su periferia muestra penetración. En el caso de *T. grandis*, se puede decir que es la especie que visualmente muestra la menor penetración del preservante y se observa bastante irregularidad en la periferia en condición verde. Para *T. amazonia*, aunque ocurre de manera irregular, se destaca que para ambas condiciones se tiene toda la periferia cubierta.

Sin embargo, los resultados anteriores difieren de los resultados reportados por Moya et al (2021) en la “Guía para la preservación de madera por el método de inmersión-difusión con sales de boro”, donde se menciona que, para estas cuatro especies en estudio la penetración es permeable y uniforme. Según Vaca de Fuentes (1998), Tuset y Durand (1979) y más recientemente Sotomayor et al (2016), los factores que afectan la preservación en la madera se deben principalmente a la anatomía, su durabilidad natural, la constitución química, la forma de preparar la madera para el tratamiento, el tipo de preservante y su preparación y el método de preservación; estos factores hacen diferencia en el tipo de penetración y, además, en la difusión y retención del preservante.

#### 5.1.2 Retención y difusión de sales de boro en las especies estudiadas en condición verde y seca.

Se obtuvo la retención de ácido bórico equivalente en su relación de peso por volumen, con un resultado general por especie según su estado, también, con estos resultados se puede conocer la retención en kilogramos del preservante por su volumen. A continuación, se presenta los resultados:

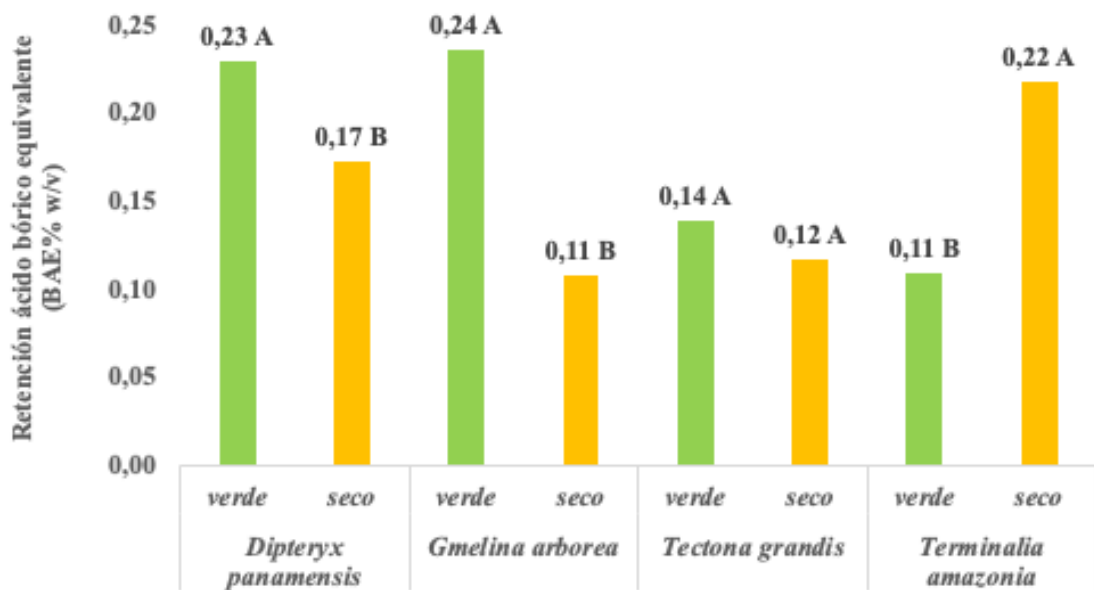


Figura 7. Retención de ácido bórico equivalente (% BAE w/v) promedio por especie según su condición (verde o seco).

En la figura anterior (figura 7), se puede observar que la retención de ácido bórico equivalente (BAE% w/v) presenta variaciones entre especies y variaciones dentro de la misma especie según su estado; en condición verde con un contenido de humedad del 21%, la especie que presentó mayor retención fue *G. arborea* y la que presentó menor retención fue *T. amazonia* (Figura 7). En el caso de la condición seca con un contenido de humedad del 12%, la especie que presentó mayor retención fue *T. amazonia* y la que presentó menor retención fue *G. arborea* (Figura 7).

Se observa también, que para *D. panamensis*, *G. arborea* y *T. grandis* la mayor retención del preservante se muestra cuando la madera está en condición verde (Figura 7), esto es demostrado por Berrocal et al, 2004, dónde el tratamiento en madera con bajo contenido de humedad presenta poca penetración (en la periferia) y su retención generalmente es menor que en condición verde.

Sin embargo, se nota una excepción en *T. amazonia*, donde la mayor retención del preservante se muestra en estado seco (Figura 7), esto puede ser causado porque la madera absorbió el agua de la solución preservante (Berrocal et al, 2004), considerando que existen

tres tipos de agua que conforma la madera (agua de libre, agua de saturación y agua de constitución) según Vaca de Fuentes (1998) y por métodos tradicionales de secado donde se logra un 12% a 18% de humedad, solo se puede eliminar el agua libre y el agua de saturación; además, la madera de *T. amazonia* se destaca por tener vasos visibles a simple vista, de tamaño mediano y su distribución múltiples (Moya et al, 2010) y al quedar vacíos con el tratamiento de secado, estos pueden absorber mayor cantidad de solución preservante.

Es importante mencionar que si se obtiene la retención en kilogramos, la especie que presenta la mayor retención es *G. arborea*, seguidamente de *D. panamensis*, con  $2,4 \text{ kgB}^2\text{O}_3/\text{m}^3$  y  $2,3 \text{ kgB}^2\text{O}_3/\text{m}^3$  respectivamente y ambas en condición verde (Figura 7); con estos resultados se puede comparar con la retención mínima establecida según el preservante a utilizar por categoría de riesgo o servicio de la madera, establecida por INTECO (ver cuadro 3), donde se observa que bajo las condiciones y procedimientos realizados en este estudio, muy cercano a la realidad, no se está cumpliendo con la retención mínima establecida de  $4,5 \text{ kgB}^2\text{O}_3/\text{m}^3$  para las categorías de riesgo CR1 y CR2 recomendadas para la preservación con boratos (ver cuadro 2).

Finalmente, para la eficacia contra termitas y comparando con el cuadro 1, con las retenciones obtenidas no es suficiente para la inhibición del ataque de termitas, ya que lo mínimo reportado por Ahmed (2000) es de 0,56 %BAE.

Estadísticamente, se obtuvo diferencias significativas entre *D. panamensis* verde y seco, y entre *G. arborea* verde y seco, teniendo mayor significancia para la retención del preservante en la madera en condición verde; en *T. amazonia* se encuentran diferencias significativas pero con mayor significancia en la madera en condición seca que es donde esta especie logra mayor retención; finalmente, en *T. grandis* no se obtuvo diferencias significativas, por lo que en este caso se obtiene una retención similar si se utiliza la madera verde o seca (Figura 7).

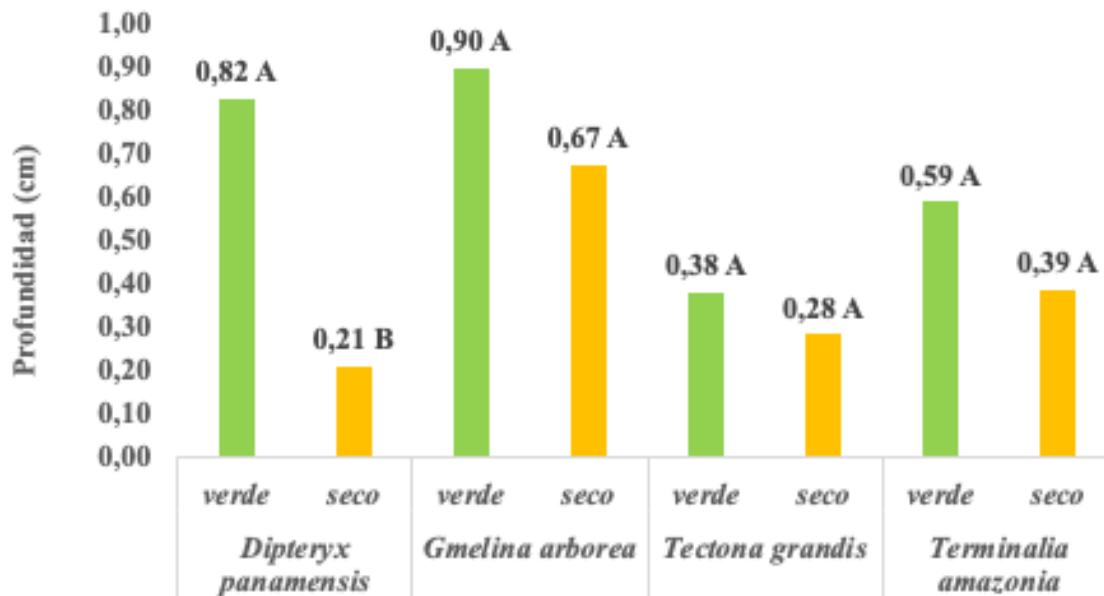


Figura 8. Profundidad alcanzada por el preservante por especie y condición.

En la figura anterior (Figura 8), se puede ver la profundidad máxima alcanzada por cada especie, para su condición verde y en seco. Tanto en condición verde como en condición seca, la especie que más profundidad presentó fue *G. arborea* con 0,90 cm y 0,67 cm respectivamente; la especie que tuvo menor profundidad fue *D. panamensis* con 0,21 cm en condición seca y *T. grandis* con 0,38 cm en condición verde (Figura 8). Se obtiene también que la profundidad por especie es mayor en su condición verde y esto se aplica para las cuatro especies estudiadas.

Según Sotomayor et al (2016), la solubilidad de los compuestos de boro permite preservar las especies que presentan dificultad para preservar y que también, la distribución interna de la solución preservante se facilita cuando la madera tiene alto contenido de humedad. También, con un contenido de humedad alto se puede llegar a tener una penetración completa del preservante y que si se compara la penetración (cm) en el tiempo (días) esta va a ir aumentando hasta llegar al punto óptimo aproximadamente a 20 días para piezas de 2,5 cm (Berrocal et al, 2004).

Con el análisis estadístico, la única especie que muestra diferencia significativa es *D. panamensis*, las demás no tienen diferencia significativa en cuanto a la profundidad alcanzada por el preservante en la madera verde o seca.

5.1.3 Propuesta de modelos de difusión para la retención del preservante en el tiempo, la profundidad alcanzada en el tiempo y la retención obtenida por profundidad máxima.

A continuación, se muestran los modelos de mejor ajuste propuestos para representar la variación del espesor o profundidad alcanzada en el tiempo y su comportamiento, para las cuatro especies en condición verde y seca.



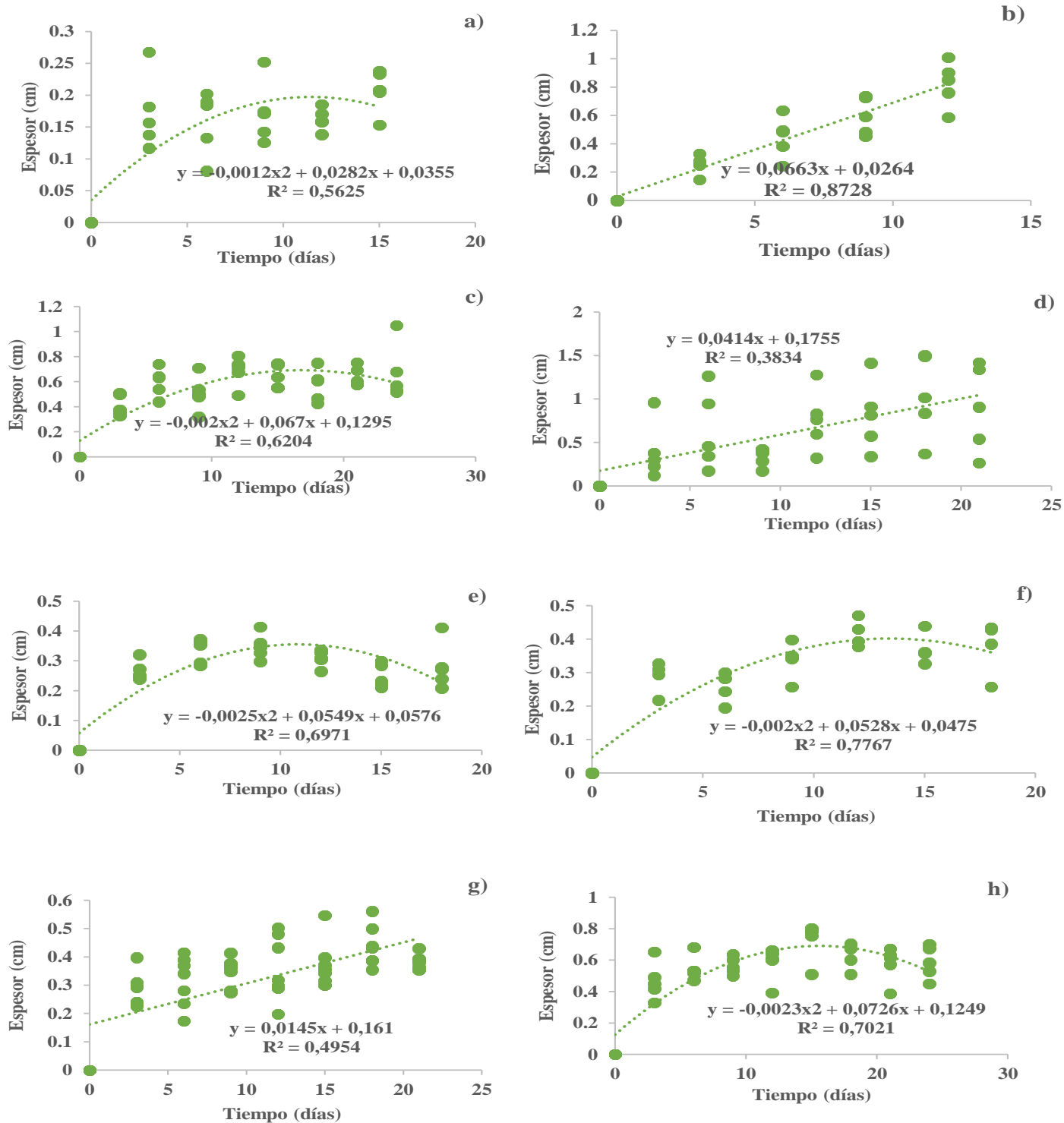


Figura 9. Modelo de mejor ajuste para la penetración en el tiempo por especie según su condición. *D. panamensis* seco (a) y verde (b), *G. arborea* seco (c) y verde (d), *T. grandis* seco (e) y verde (f), *T. amazonia* seco (g) y verde (h).

Se muestra en la figura 9, como la penetración aumenta al pasar los días, esto quiere decir que en el proceso de preservación con sales de boro es adecuado utilizar en estas especies, además envolver con plástico a las muestras para evitar la circulación de aire es efectiva para el proceso de difusión dentro de las muestras (Moya et al, 2021). La solubilidad del boro hace que sea posible preservar maderas que son difíciles de tratar (Sotomayor et al, 2016) como en este caso *D. panamensis* y *T. grandis*, que según su estructura anatómica interna en su distribución y tamaño de poro y además en *T. grandis* la presencia de tñlides que obstruyen las cavidades conductoras hacen que sea complejo o difícil su preservación (Moya et al, 2010) y (Sotomayor et al,2018).

Además, estos modelos muestran el comportamiento encontrado por Berrocal et al, 2004, donde menciona que la penetración fue aumentando al realizar las mediciones de las mismas cada periodo en días, también, indica que la penetración tiende a aumentar en mayor proporción en la madera verde con un contenido de humedad mayor al 21%, hasta llegar a una penetración uniforme óptima, sin embargo, para la madera seca con un contenido de humedad del 12% la penetración aunque es más lenta y no alcanza la misma profundidad que la madera verde, también tiende a aumentar. Con el análisis de estadística se mostró cual modelo presenta mejor ajuste para cada especie y su condición, mostrándose en la figura el modelo seleccionado.

En la siguiente figura (figura 10), se muestran los modelos de ajuste lineal propuestos para representar la variación de la retención de ácido bórico en el tiempo y su comportamiento, para las cuatro especies en condición verde y seca.

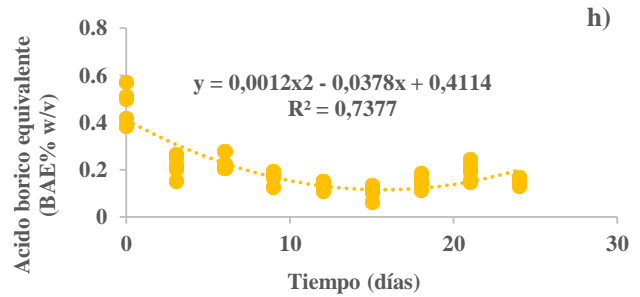
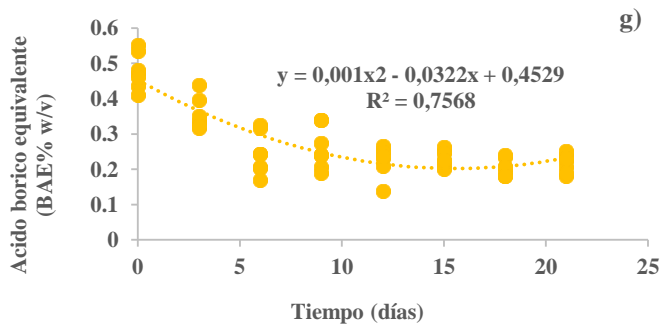
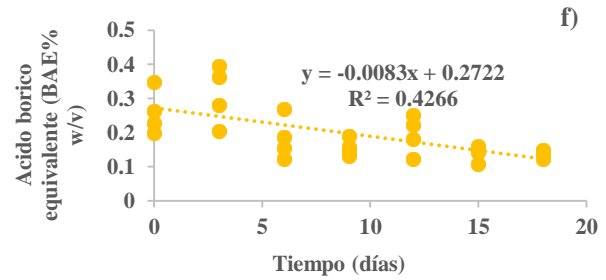
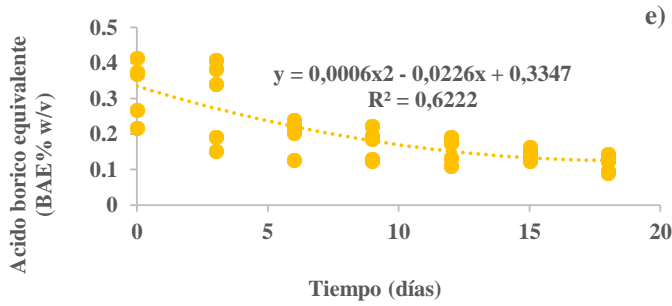
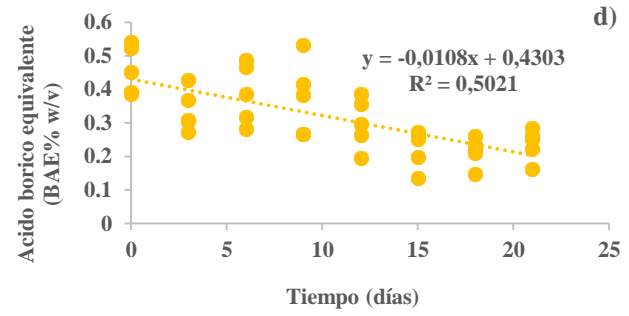
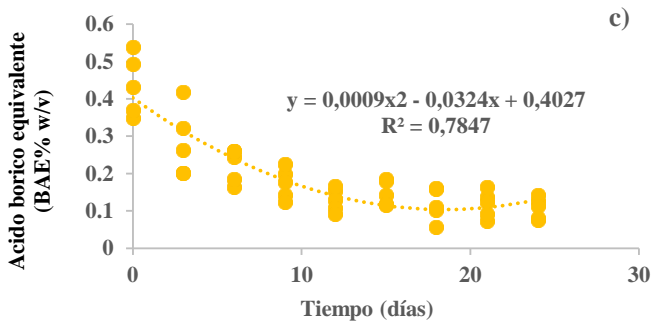
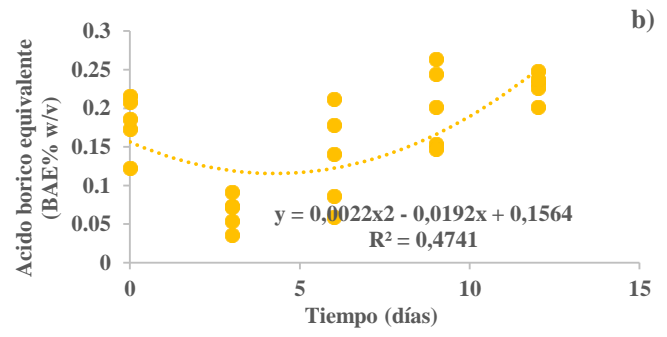
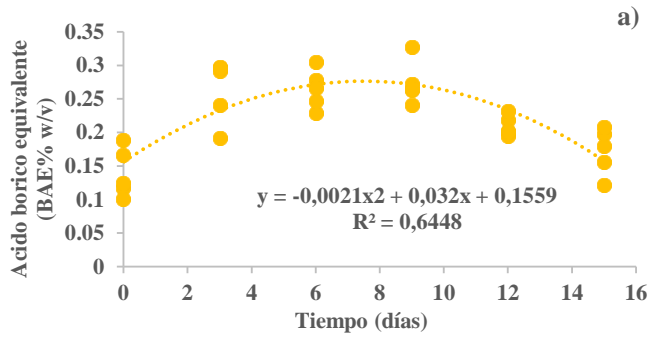


Figura 10. Modelo de mejor ajuste para la retención en el tiempo por especie según su condición. *D. panamensis* seco (a) y verde (b), *G. arborea* seco (c) y verde (d), *T. grandis* seco (e) y verde (f), *T. amazonia* seco (g) y verde (h).

En la figura 10, se observa como la retención va disminuyendo, ya que la cantidad de preservante absorbido por la madera se concentra la gran parte en la superficie y se difunde, pero no logra retener la totalidad del preservante (Alfaro, 2013). En general se puede ver como esta condición se mantiene para tres especies tratadas, pero en *D. panamensis* ocurre lo contrario en ambas condiciones, en condición verde prácticamente se mantiene estable su retención ya que es muy poco preservante el que se difunde en ella y en condición seca su retención aumenta ya que por su estructura anatómica y su poca presencia de agua ayuda a que el preservante absorba solución y se mantenga por más tiempo (Sotomayor et al, 2016). Con el análisis de estadística se mostró cual modelo presenta mejor ajuste para cada especie y su condición, mostrándose en la figura el modelo seleccionado.

Finalmente, se muestran los modelos de ajuste lineal propuestos para representar la variación de la retención de ácido bórico en el espesor y su comportamiento, para las cuatro especies en condición verde y seca.

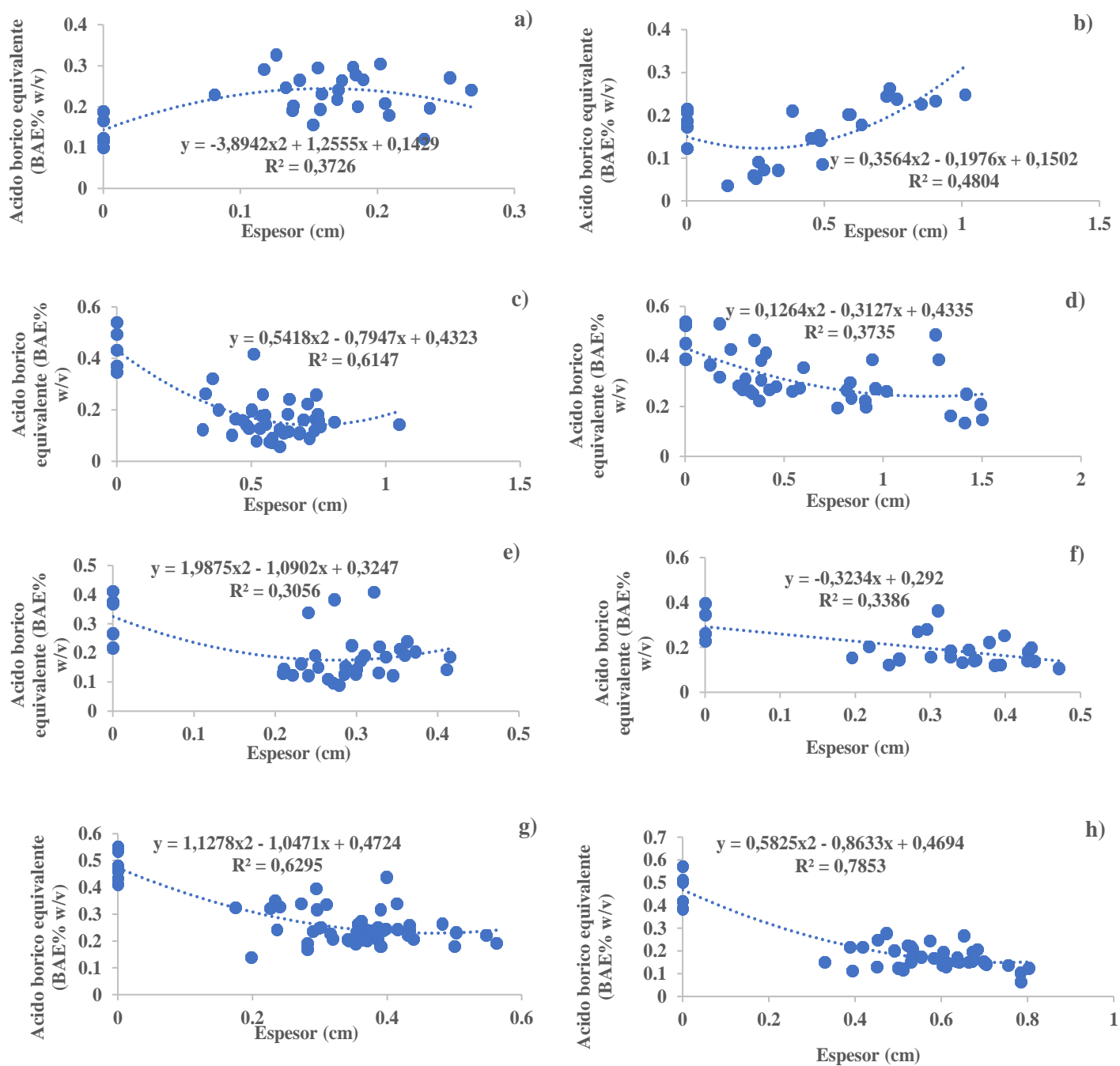


Figura 11. Modelo de mejor ajuste para la retención según su espesor por especie según su condición. *D. panamensis* seco (a) y verde (b), *G. arborea* seco (c) y verde (d), *T. grandis* seco (e) y verde (f), *T. amazonia* seco (g) y verde (h).

En la figura 11, se muestra el comportamiento de la retención cuando se alcanza cierta profundidad, nuevamente esto ocurre para tres especies estudiadas, exceptuando *D. panamensis*. Se ejemplifica como se tiene una cantidad de ácido bórico en la solución y como esa retención es cada vez menor mientras avanza la penetración en la pieza. Existen factores ya mencionados donde Vaca de Fuentes (1998), Tuset & Durand (1979), y Sotomayor et al (2016), explican los factores que se deben considerar en el proceso de preservación y la estructura anatómica de la madera que facilita o dificulta la penetración y retención de la solución preservante en las especies tratadas. Con el análisis de estadística se mostró cual modelo presenta mejor ajuste para cada especie y su condición, mostrándose en la figura el modelo seleccionado.

#### 5.1.4 Coeficientes de difusión para la retención del preservante en el tiempo, la profundidad alcanzada en el tiempo y la retención obtenida por profundidad máxima

En la figura siguiente, se muestra el coeficiente de retención de las sales de boro en el tiempo.

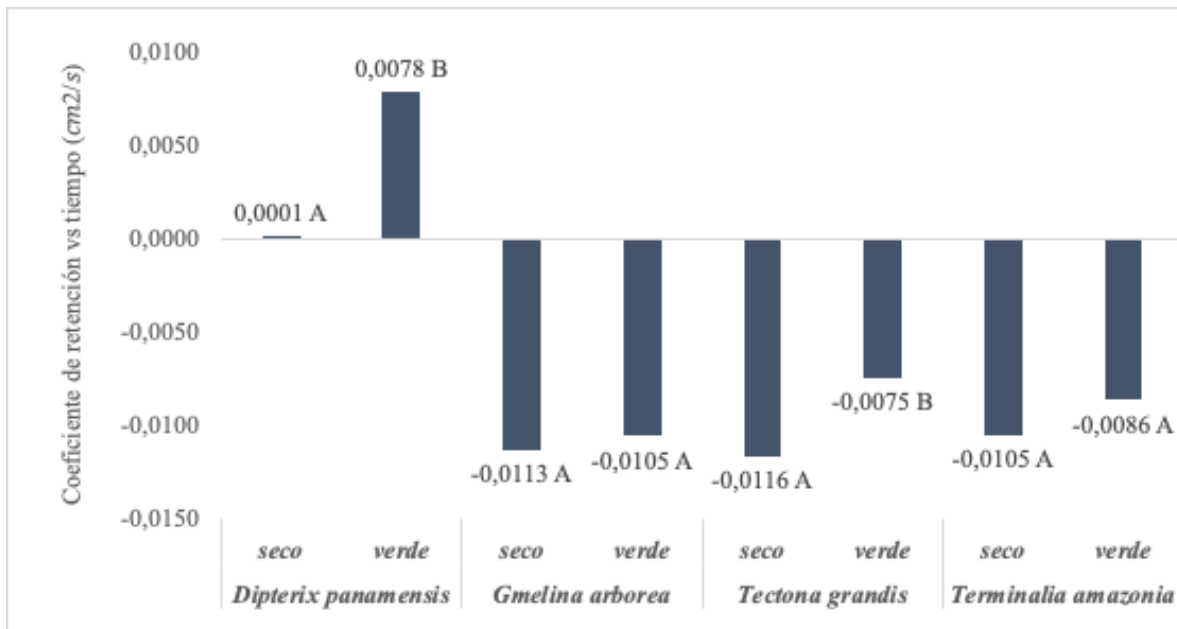


Figura 12. Coeficiente de retención contra tiempo obtenido para cada especie según su condición (verde o seca).

El coeficiente como se mencionó anteriormente, indica el valor de cambio de la retención de las sales de boro por segundos. La retención es la cantidad de preservante que es absorbido por la madera en relación con su volumen para un tiempo (Alfaro, 2013), por lo tanto, debería ir disminuyendo, ya que el preservante tarda cierto tiempo en penetrar la madera y alcanza una penetración máxima a un tiempo (Berrocal et al, 2004) posteriormente el proceso se detiene, sin embargo, la mayor retención del preservante se conserva en la zona más superficial que es donde ingresa primero a la madera.

Dado que el coeficiente es equivalente a la pendiente, siguiendo la ecuación 3, esa pendiente debería ir disminuyendo ya que la retención disminuye al pasar un tiempo establecido. Según los resultados, se encuentra tendencia en tres especies a excepción de *D. panamensis*, como se mencionó anteriormente la anatomía de la madera y la composición química afecta la difusión de preservante y la solubilidad de las sales de boro hace que la impregnación en *D. panamensis* ocurra de manera lenta en comparación a los demás y ajustándose a la composición anatómica de la madera (Sotomayor et al, 2016) y (Vaca de Fuentes, 1998).

Con el análisis estadístico para la pendiente o coeficiente obtenido por especie y su condición, se muestra que existen diferencias significativas entre la madera en condición seca y verde de *D. panamensis* y de *T. grandis* (Figura 12), las dos especies restantes no tuvieron diferencia significativa entre sus coeficientes obtenidos, es decir que la retención del preservante no depende de la condición de humedad de la madera.

En la figura siguiente, se muestra el coeficiente de retención de las sales de boro en el tiempo.

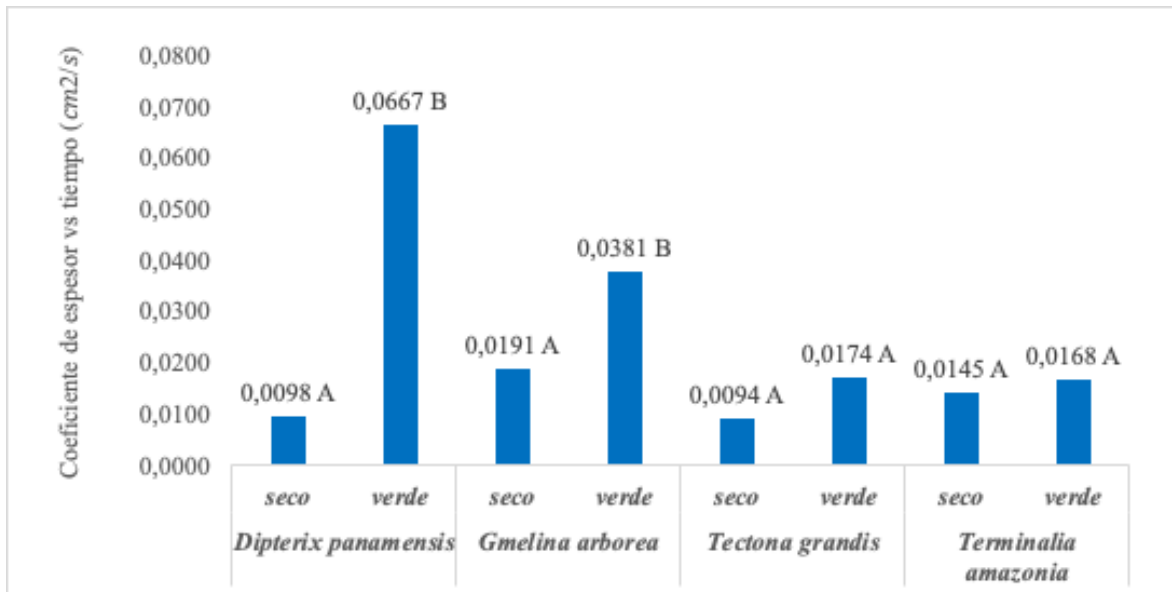


Figura 13. Coeficiente de espesor contra tiempo obtenido para cada especie según su condición (verde o seca).

Si se observa la tendencia en los modelos propuestos, para relacionar el espesor alcanzado al pasar los días de impregnación, se puede decir que su tendencia lineal es un aumento, los coeficientes representan la pendiente del modelo siguiendo la ecuación 3, por lo tanto, se espera que sus coeficientes sean positivos. Esta tendencia concuerda con lo obtenido por Berrocal et al, 2004, en el “Ensayo de penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina crecida en Costa Rica”, donde muestra que aunque se utilice madera verde con alto contenido de humedad o madera seca al 12% de contenido de humedad aproximadamente, gracias a la solubilidad que posee el boro puede difundirse en ambas situaciones e ir penetrando a través de los días, y aunque es mayor en madera verde que en estado seco, siempre tiene tendencia a aumentar la penetración debido a la difusión dentro de la estructura de la madera.

En la figura 13, se ven resultados con coeficientes positivos que muestran la tasa de penetración en área por el tiempo transcurrido. Con el análisis estadístico para la pendiente o coeficiente obtenido por especie y su condición, se muestra que existen diferencias significativas entre la madera en condición seca y verde de *D. panamensis* y de *G. arborea*,



las dos especies restantes no tuvieron diferencia significativa entre sus coeficientes obtenidos, es decir, que el espesor o profundidad no depende de la condición de humedad de la madera y no ocurre cambio al pasar los días.

En la figura siguiente, se muestra el coeficiente de retención de las sales de boro por profundidad alcanzada.

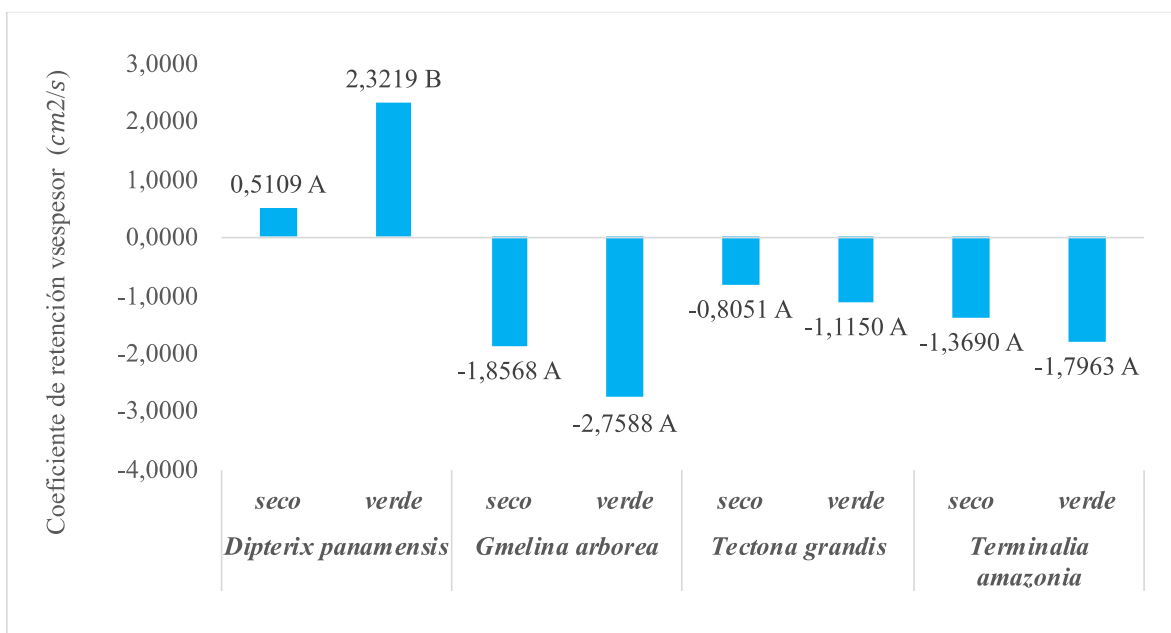


Figura 14. Coeficiente de retención contra espesor obtenido para cada especie según su condición (verde o seca).

En la figura 14 se puede observar cómo los coeficientes en tres especies son negativos, a excepción de *D. panamensis*; estos coeficientes nos muestran que la tendencia va disminuyendo. En los modelos propuestos por especie, se puede ver como esa retención va disminuyendo conforme el preservante va penetrando la madera, la mayor retención se tiene cerca de la periferia que es la zona que tiene el primer contacto con el preservante y de ahí su penetración y difusión se ven afectadas por condiciones ya antes mencionadas y esto causa que la retención de la solución de boro sea menor a mayor profundidad de penetración. En el caso de *D. panamensis*, puede deberse a su estructura anatómica, principalmente a su distribución de poros y tamaño, ya que según ONF la preservación de la madera si se analiza las propiedades de cada especie, afecta si se trata de albura o duramen, según el tamaño de

las fibras y el peso específico; con estas condiciones se puede lograr una difusión poco profunda al inicio y que no continúe, además, en este caso debe analizarse con más detenimiento si la madera obtenida en el aserradero presenta partes de duramen y que no haya sido identificado a simple vista.

Con el análisis estadístico para la pendiente o coeficiente obtenido por especie y su condición, se muestra que existen diferencias significativas entre la madera en condición seca y verde de *D. panamensis* las tres especies restantes no tuvieron diferencia significativa entre sus coeficientes obtenidos. Esto quiere decir que para tres especies la retención alcanzada en la penetración no difiere del contenido de humedad de la madera.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A nivel visual se tuvo cambio en la coloración en las cuatro especies en condición verde y seca, aplicando la sustancia reveladora. *G. arborea* fue la especie que tanto en condición verde como seca presentó mayor coloración y la que menor coloración obtuvo fue *D. panamensis*.

En cuanto a la retención de ácido bórico equivalente, la especie que tuvo mayor retención de ácido bórico equivalente en condición verde fue *G. arborea* con 0,24 %BAE y la que menor obtuvo fue *T. amazonia* con 0,11 %BAE. Para la madera en estado seco quien tuvo la mayor retención fue *T. amazonia* con 0,22 %BAE y la menor fue *G. arborea* con 0,11 %BAE.

Respecto a la protección contra termitas, no se alcanza la retención mínima para la inhibición del ataque. No se logra cumplir con la retención mínima establecida por INTECO de  $4,5kgB^2O_3/m^3$  para la preservación con boratos en el uso de la madera para interiores en las categorías de riesgo CR1 y CR2.

La mayor profundidad de difusión del preservante alcanzada en condición verde fue de 0,90 cm en *G. arborea* y la menor fue de 0,38 cm en *T. grandis*. En condición seca la mayor profundidad fue de 0,67 cm alcanzada por *G. arborea* y la menor fue 0,21 cm en *D. panamensis*.

Los modelos de difusión para la retención del preservante en el tiempo, la profundidad alcanzada en el tiempo y la retención obtenida por profundidad máxima, ejemplifican la variación y comportamiento entre muestras aun tratándose de la misma especie.

Los coeficientes de retención en el tiempo para *D. panamensis* es de  $0,0001\text{cm}^2/\text{s}$  y  $0,0078\text{cm}^2/\text{s}$ , para *G. arborea* es de  $-0,0113\text{cm}^2/\text{s}$  y  $-0,0105\text{cm}^2/\text{s}$ , para *T. grandis* es de  $-0,0116\text{cm}^2/\text{s}$  y  $-0,0075\text{cm}^2/\text{s}$  y para *T. amazonia* es de  $-0,0105\text{cm}^2/\text{s}$  y  $-0,0086\text{cm}^2/\text{s}$  en condición seca y verde respectivamente.

Los coeficientes obtenidos de la retención en espesor para *D. panamensis* es de  $0,5109\text{cm}^2/\text{s}$  y  $2,3219\text{cm}^2/\text{s}$ , para *G. arborea* es de  $-1,8568\text{cm}^2/\text{s}$  y  $-2,7588\text{cm}^2/\text{s}$ , para *T. grandis* es de  $-0,8051\text{cm}^2/\text{s}$  y  $-1,1150\text{cm}^2/\text{s}$  y para *T. amazonia* es de  $-1,3690\text{cm}^2/\text{s}$  y  $-1,7963\text{cm}^2/\text{s}$  en condición seca y verde respectivamente.

Los coeficientes obtenidos del espesor alcanzado en el tiempo para *D. panamensis* es de  $0,0098\text{cm}^2/\text{s}$  y  $0,0667\text{cm}^2/\text{s}$ , para *G. arborea* es de  $0,0191\text{cm}^2/\text{s}$  y  $0,0381\text{cm}^2/\text{s}$ , para *T. grandis* es de  $0,0094\text{cm}^2/\text{s}$  y  $0,0174\text{cm}^2/\text{s}$  y para *T. amazonia* es de  $0,0145\text{cm}^2/\text{s}$  y  $0,0168\text{cm}^2/\text{s}$  en condición seca y verde respectivamente.

La penetración y retención de la solución preservante es afectada por la anatomía propia de cada especie, la forma de preparación de la solución preservante, el pH de la madera, el contenido de humedad (CH%) y el método de preservación.

Por otra parte, se recomienda mejorar el proceso de preservación, ya que se podrían implementar métodos para aumentar la retención y evitar la lixiviación de las sales de boro.

Proponer un método boro-silicio para ser aplicado en aserraderos convencionales en Costa Rica para brindar al mercado un producto de mayor calidad y resistente para la construcción principalmente de viviendas, ya que existen estudios sobre la utilización de sales de boro con silicatos para crear una polimerización en la madera que aumenta la dureza, resistencia, estabilidad dimensional y es de ayuda para que el boro pueda fijarse dentro de la madera y así evitar su lixiviación frente a condiciones húmedas.

Se recomienda la preservación con sales de boro en madera verde para que la difusión sea lo más uniforme posible.

## 7. REFERENCIAS

Ahmed, B. M. (2000). The effects of boron-treated timbers against *coptotermes* species in Australia. The University of Melbourne. Melbourne, Australia. De:

<https://rest.neptune-prod.its.unimelb.edu.au/server/api/core/bitstreams/a7b177ad-d99c-5b68-82f9-f6da02f0e90b/content>

Alfaro, J. D. (2013). Estudio de retención y penetración de tres preservantes comerciales en nueve especies maderables presentes en Costa Rica. Ingeniería vol 23 (1) Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. De:

[https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/download/9825/pdf\\_12/#:~:text=retenci%C3%B3n%3a%20dado%20en%20kg%2fm3,volumen%20para%20un%20tiempo%20dad](https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/download/9825/pdf_12/#:~:text=retenci%C3%B3n%3a%20dado%20en%20kg%2fm3,volumen%20para%20un%20tiempo%20dad)  
o

Ávila, L.E., Herrera, M.A. y Raya, D. (2012). Preservación de la madera en México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Hidalgo, México.

Berrocal, A., Muñoz, F. y González, G. (2004). Ensayo de penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica De: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123287.pdf>

Camacho, D. y Salas, C. (2015). Uso de la madera: programa de vivienda indígena.

Cisternas, D. A. (2019). Evaluación del escalamiento para producción de preservante de madera con nanopartículas. Universidad del bío-bío. Concepción, Chile. De:

[http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3535/1/cisternas\\_y%a1%b1ez\\_diego\\_alejandro.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3535/1/cisternas_y%a1%b1ez_diego_alejandro.pdf)

Cosme, F. C. (2021). El boro. De:

[https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14039/7145/monograf%  
c3%8da%20-%20cosme%20rivera%20fernando%20cesar%20-%20fac.pdf?sequence=1&isallowed=y](https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14039/7145/monograf%c3%8da%20-%20cosme%20rivera%20fernando%20cesar%20-%20fac.pdf?sequence=1&isallowed=y)

Dengue, V. y Hernández, R. (2018). Difusión y permeabilidad de madera de *eucalyptus grandis* y *pinus taeda* frente a conservantes para madera acuosos. Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

EN 84. (1997). Wood preservatives–accelerated ageing of treated wood prior to biological testing–leaching procedure. De:

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/78929b10-74af-4f84-9ea6-d4358d125139/en-84-1997>

FSC (forest stewardship council). (2018). En madera, otra forma de construir. De:

<https://es.fsc.org/preview.en-madera-otra-forma-de-construir-elmaterial-constructivo-sostenible-del-siglo-xxi.a-485.pdf> p6-233.

Hernández, G. (2013). Cebos para el control de la cucaracha *blatella germanica* (*dictyoptera:blattellidae*) formulados con hongos entomopatógenos y ácido bórico. México: Instituto de enseñanza e investigación de ciencias agrícolas.

Ibáñez, C. (2012). Madera, biodeterioro y preservantes. jornada técnica en biotecnología forestal – inía Tacuarembó. De: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8026/1/sad-684-p.11-12.pdf>

Ibáñez, C., Mantero, C., Silva, L., Rabinovich, M., Escudero, R., y Franco, J. (2012). Preservación de madera tratada con zn y mn y efectividad de tratamiento anti lixivante con

bórax. maderas. ciencia y tecnología, 14(2), 165-174. De: <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-221x2012000200004>

INTECO. (2019a). INTE c345:2019. Preservación de madera. Clasificación según uso y riesgo en servicio. INTECO. San José, Costa Rica.

INTECO. (2019b). PN INTE c396:2020. Métodos de ensayo para determinar la retención de preservantes en madera y el contenido de componentes activos en los preservantes. INTECO. San José, Costa Rica.

INTECO. (2020). PN INTE c397:2020 cp. Madera - preservación - medición de la penetración de preservantes en la madera. INTECO. San José, Costa Rica.

Junta del acuerdo de Cartagena. (1988). Manual del grupo andino para la preservación de maderas. (1<sup>o</sup>ed) Junta del acuerdo de Cartagena. Lima, Perú.

LEMIT (2017). Bioalteración, protección y conservación de maderas: anales LEMIT, serie III, año 4, n° 10. CIC-digital. De: <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/10827>

Mascarell, J. M. (2019). Química del boro. De: [https://www.uv.es/moratal/qi\\_1/tema\\_5a\\_quimica%20del%20boro.pdf](https://www.uv.es/moratal/qi_1/tema_5a_quimica%20del%20boro.pdf)

Molina, A. G. y Segura, A. E. (2015) Construya con madera: madera y construcción. ONF. Costa Rica. p19. De: [https://onfcr.org/wp-content/uploads/media/uploads/documents/onf\\_1-32-web.pdf](https://onfcr.org/wp-content/uploads/media/uploads/documents/onf_1-32-web.pdf)

Moya, R., Gaitán, J. y Berrocal, A. (2021). Guía para la preservación de madera por el método de inmersión - difusión con sales de boro. Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13452>

Moya, R., Muñoz, F., Salas, C., Berrocal, A., Leandro, L. y Esquivel, E. (2010). Tecnología de madera de plantaciones forestales: fichas técnicas. Revista Forestal Mesoamericana Kurú. Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. De:

<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/download/383/2355/7418>

Narasimha Murthy, K., Chawla, V. K., Upadhyay, V. K., y Prakash, V. (2019). Evaluation of new boron fixation system for wood preservation. international journal in engineering research and management. 6 (8), 2349-2058. De:

[https://www.researchgate.net/publication/344296027\\_evaluation\\_of\\_new\\_boroon\\_fixation\\_system\\_for\\_wood\\_preservatives](https://www.researchgate.net/publication/344296027_evaluation_of_new_boroon_fixation_system_for_wood_preservatives)

ONF. (s.f.) Ingeniería de la madera. ONF. San José, Costa Rica. De: <https://onfcr.org/wp-content/uploads/media/uploads/documents/ingenieria-madera.pdf>

ONF. (2019). Usos y aportes de la madera en costa rica estadísticas 2018 y precios 2019.

ONF. San José, Costa Rica. De: <https://onfcr.org/wp-content/uploads/2019/11/usos-y-aportes-de-la-madera-2018.pdf>

Obanda, D. D., Shupe, T. F. y Barnes, H. M. (2008). Reducing leaching of boron-based wood preservatives. a review of research. bioresource technology, 99(15), 7312-7322. De:

[https://www.researchgate.net/publication/5557738\\_reducing\\_leaching\\_of\\_boron-based\\_wood\\_preservatives\\_-\\_a\\_review\\_of\\_research](https://www.researchgate.net/publication/5557738_reducing_leaching_of_boron-based_wood_preservatives_-_a_review_of_research)

Peraza, F. (2001). Protección preventiva de la madera. asociación de investigación técnica de las industrias de la madera y corcho. Madrid, España.

Posada, R.E. (2015). Desarrollo de métodos alternativos de valoración de la calidad de la preservación, empleando sales de bórax en la *guadua angustifolia kunth*. Universidad tecnológica de Pereira, Colombia.

Red Comunica (2021). Madera: el material ideal para construir viviendas de interés social en territorios indígenas. Red Comunica. De:  
<https://redcomunica.csuca.org/index.php/instituto-tecnologico-de-costa-rica/madera-el-material-ideal-para-construir-viviendas-de-interes-social-en-territorios-indigenas/>

Química ES. (s.f.) El boro. De: <https://www.quimica.es/enciclopedia/boro.html>

Sotomayor-Castellanos, J. R., y Villaseñor Aguilar, J. M. (2016). Retención y absorción de solución de sales de boro de diez maderas mexicanas. *acta universitaria*, 26(2), 12-19. De:  
<https://doi.org/10.15174/au.2016.835>

Sotomayor, J., Giraldo, M., Gené, J., Correal, E. y Vílchez, M. (2018). Efecto de sales de boro en la densidad y en el módulo de elasticidad de tres maderas mexicanas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. De:  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/31608/33275#:~:text=al%20interior%20de%20la%20madera,2006%3b%20caldeira%2c%202010>

Taghiyari, H. R. (2012). Fire-retarding properties of nano-silver in solid woods. *Wood Science and Technology*, 46(5), 939-952.



Tenorio, C., Moya, R., Salas, C., y Berrocal, A. (2016). Evaluation of wood properties from six native species of forest plantations in Costa Rica. *Bosque*, 37(1). De: <https://www.scielo.cl/pdf/bosque/v37n1/art08.pdf>

Tuset, R., Duran, F. (1979). Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay.

Vaca de fuentes, R. B. (1998). Técnicas para la preservación de maderas. Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Bolivia. De: [https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/pnacd119.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnacd119.pdf)

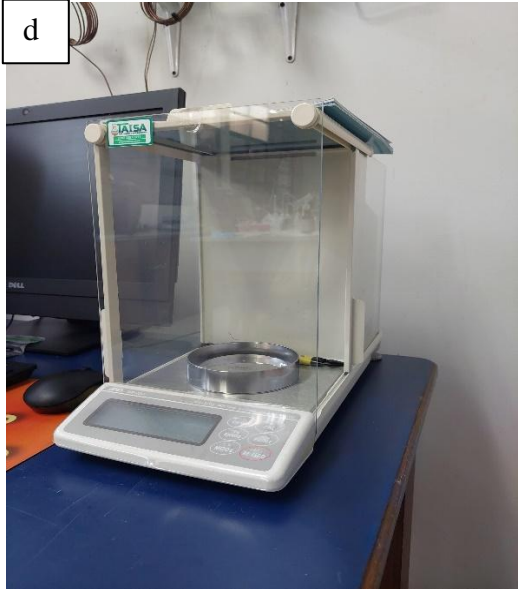
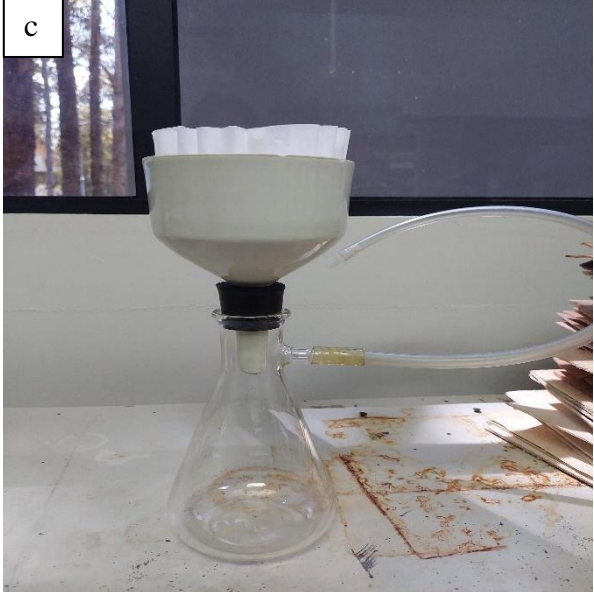
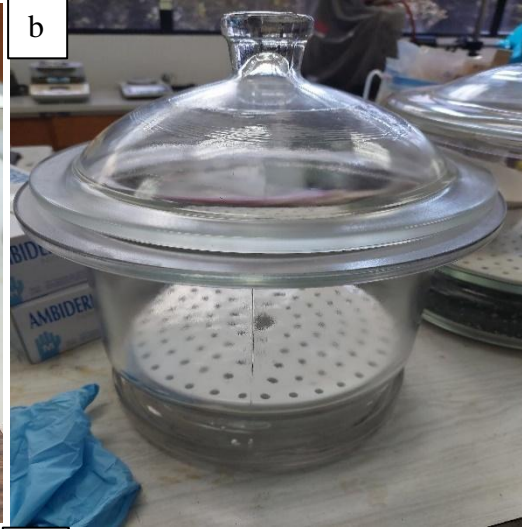
Valderrama, P.M. y Pinto, H. D. (2016). Diseño de una guía para la reducción a la exposición ocupacional a plaguicidas en una empresa controladora de plagas, mediante el uso de alternativas ecológicas en la eliminación de artrópodos del orden *blattodea*. Universidad Ecci. Bogotá, Colombia.

Vásquez, M y Recabarren, A. (2005). Documento técnico n°2: preservación de la madera. Universidad de Talca. Talca, Chile.

## 8.ANEXOS



Anexo 1. Equipo utilizado, sierra cinta (a), molino (b), tamiz (c) y espectrofotómetro (d)

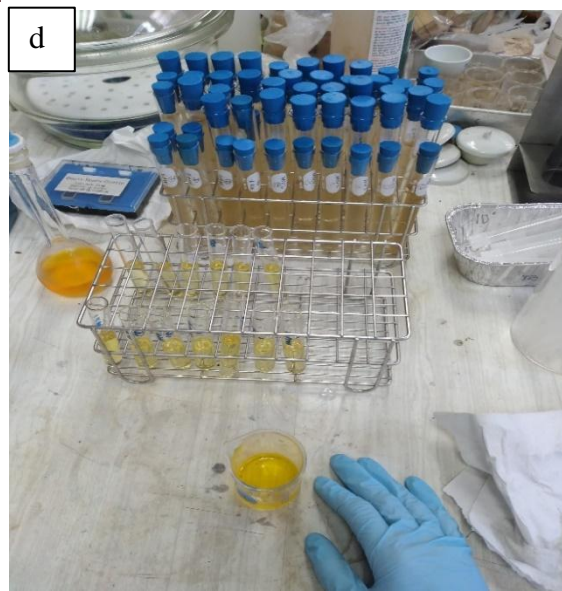
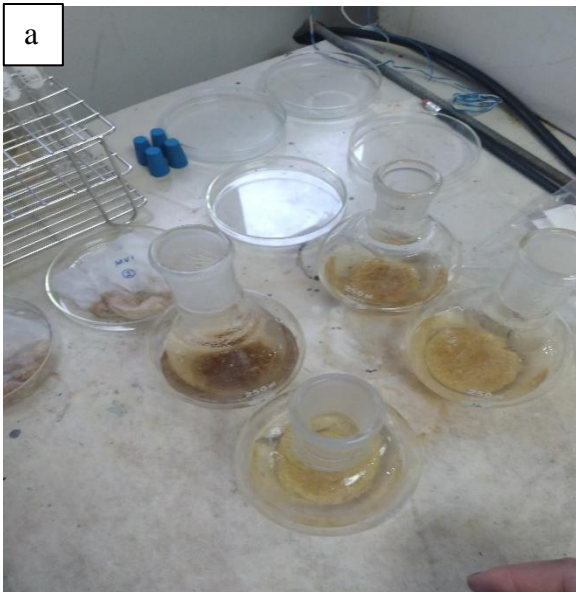


Anexo 2. Equipo utilizado, agitador magnético (a), desecador (b), equipo de filtrado (c) y balanza analítica (d).

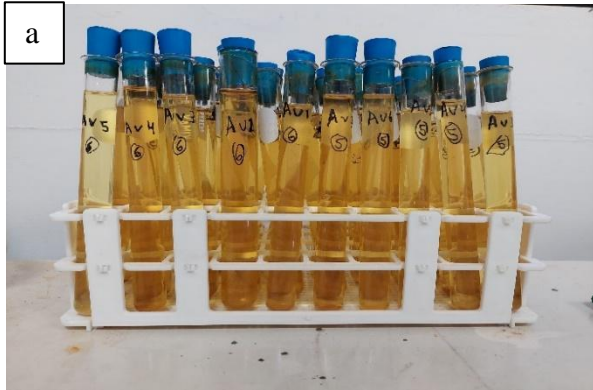




Anexo 3. Equipo utilizado, balones aforados (a), horno (b), plantilla y condensadores (c) y recipiente de cuarzo para muestra en espectrofotómetro (d).



Anexo 4. Preparación de muestras, muestras obtenidas del lavado (a), solución de azometina (b), preparación de curva de referencia de boro (c) y muestra en reposo (d).

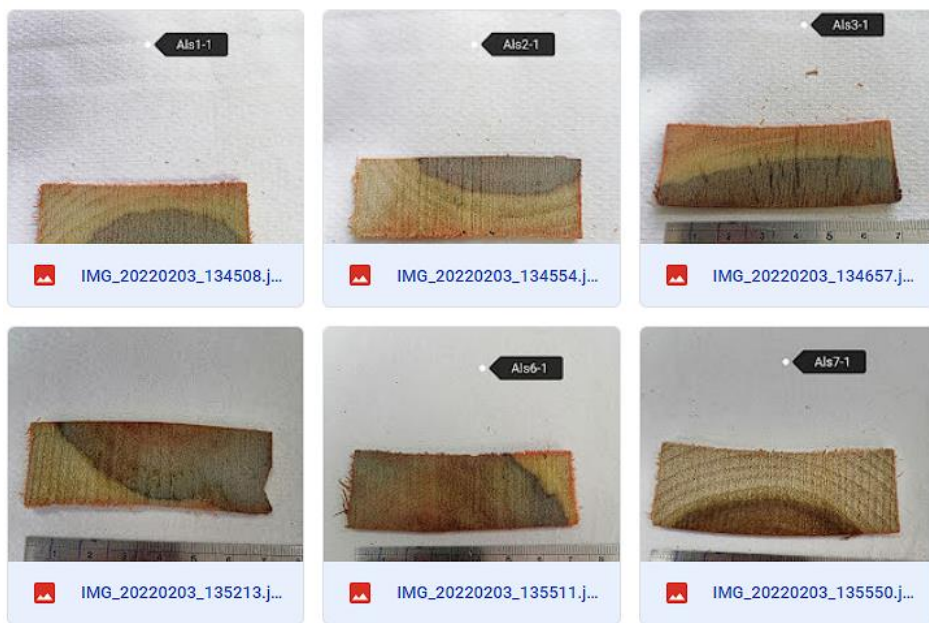


Anexo 5. Almacenamiento de muestras (a) y (b), muestras en desecador (c)

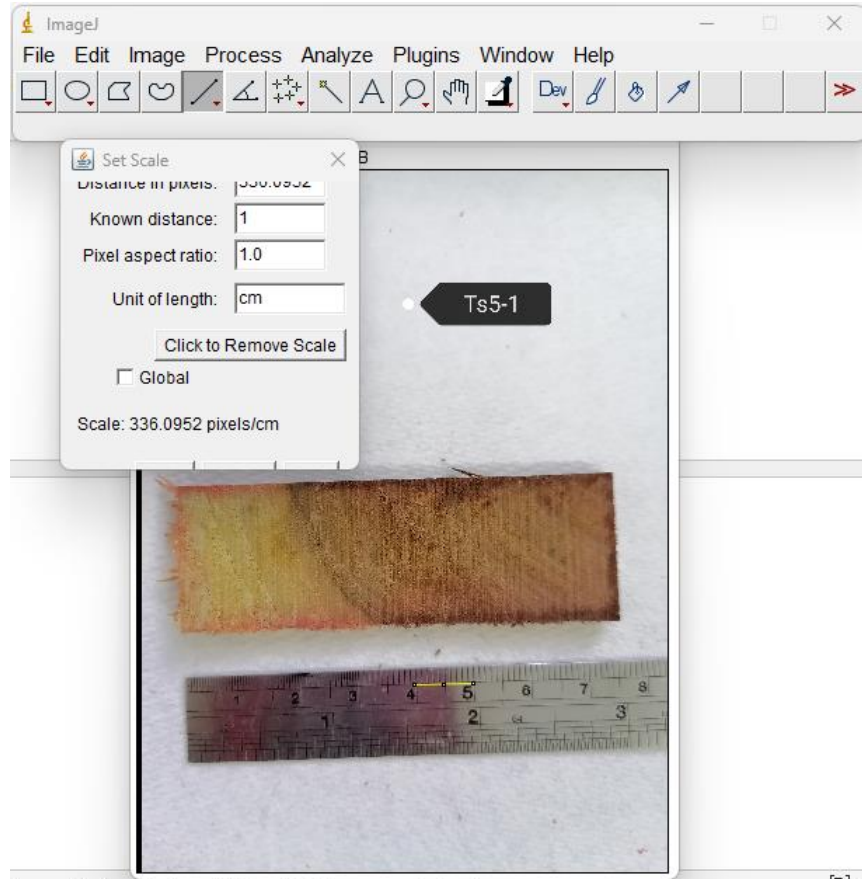


Anexo 6. Plantilla de toma de datos en el laboratorio

Especie	Estado	Muestra	Repetición	Peso inicial (g)	Peso filtro (g)	Peso filtro + muestra (g)	Peso final (g)	Abs
1	verde							
1	seco							
2	-							
2								
...								
...								



Anexo 7. Fotografías de la prueba visual de presencia de boro.



Anexo 8. Uso de la aplicación “ImageJ”, para cálculo de área y distancia.