



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

TESIS:

Determinación de la actividad repelente, anti-alimentaria e insecticida de las naftoquinonas presentes en el duramen de *Tectona grandis* para el control biológico de la termita *Incisitermes marginipennis*.

Presenta:

QFB. Gu Yen Ambriz Ortiz

Asesor de Tesis:

D.C. Crisanto Velázquez Becerra

Co-asesor de Tesis:

D.C. Rafael Torres Martínez

Mesa sinodal:

D.C. José Guadalupe Rutiaga Quiñones

D.C. Pablo López Albarrán

M.C. Abril Munro Rojas

Octubre de 2022

Morelia, Michoacán

DEDICACORIA Y AGRADECIMIENTOS

A mis padres Javier y María por siempre estar presentes en mi vida y cuidar siempre de mí.

A mi hermano Inti que a pesar de ya no encontrarse conmigo sigue presente en mi vida y sus enseñanzas.

A mi hermana Malinali que siempre me mostro su perseverancia e inteligencia.

A mi cuñado Brian que siempre es muy amable.

A mis amigos Alejandro, German, Iván, Isai, Daniel, Jorge, Juan, Rosy por siempre acompañarme en muchas locuras.

Al doctor Crisanto por darme la oportunidad de trabajar bajo su asesoría y brindarme su amistad a su vez tenerme paciencia.

Al doctor Rafael por ser un amigo que se encontró presente a lo largo de este proyecto.

A la maestra Abril por apoyarme con el proyecto y aconsejarme siempre para mejorar en muchos aspectos.

RESUMEN

El árbol de teca *Tectona grandis* es una especie muy importante a nivel mundial por su naturaleza maderable y sus extraíbles químicos, los cuales son utilizados en la industria farmacéutica como principales moléculas fenólicas, terpenicas, quinonas y naftoquinonas. Ya que los extraíbles de naftoquinonas presentan efecto sobre organismos bacterianos, fúngicos e insectos. En insectos pertenecientes a las familias como *Kalotermitidae* y *Rhinotermitidae* ha presentado, un efecto disuasivo, sin embargo, no se ha probado en la termita de madera seca *Incisitermes marginipennis*, el cual se considera una plaga causante de importantes daños, por su estilo de vida, la termita es vista como un competidor en las actividades antropogénicas y extremadamente destructiva. En el proyecto se realizó una extracción soxhelt en duramen de teca en forma de harina, con una separación en solvente de cloroformo y carbonato de sodio anhidro, donde se obtuvieron dos fases, la fase neutra se cristalizó para obtener Lapachol y la fase acida se sometió a cromatografía de columna para identificación de las diferentes naftoquinonas las cuales fueron: Tectoquinona, Desoxilapachol, Deshidro- α -lapachona, Tecomaquinona I y Tectol, presentes en esa fracción. Aplicando la prueba CL50 con tectoquinona la cual presentó un 90% y el Desoxilapachol presentó un 80% y el control cipermetrina a 0.24 mg/mL un 90 % en mortalidad en la termita de madera seca *Incisitermes marginipennis*.

Palabras clave: *Incisitermes marginipennis*, Teca *Tectona grandis*, naftoquinonas, efecto y repelencia.

ABSTRACT

The teak tree, *Tectona grandis* is a very important species worldwide due to its timber nature and its chemical extractables, which are used in the pharmaceutical industry as main phenolic molecules, terpenes, quinones, and naphthoquinones. Since naphthoquinone extractable influences bacterial, fungal, and insect organisms. In insects belonging to families such as Kalotermitidae and Rhinotermitidae, a deterrent effect has been presented, however, it has not been tested in the dry wood termite *Incisitermes Marginipennis*, which is considered a pest that causes significant damage, due to its lifestyle, the termite is seen as a competitor anthropogenic and extremely destructive activities. In the project, a soxhlet extraction was carried out in teak Heartwood in the form of flour, with a separation in chloroform solvent and anhydrous sodium carbonate, where two phases were obtained, the neutral phase was crystallized to obtain Lapachol and the acid phase was subjected column chromatography to identify the different naphthoquinones, which were: Tectoquinona, Desoxilapachol, Dehydro- α -lapachona, Tecomaquinona I and Tectol, present in this fraction. Using the LC50 test, the dry wood termite *Incisitermes marginipennis* had a 90% mortality rate, while Desoxylapachol and the control cypermethrin at 0.24 mg/ml had a 90% mortality rate.

Keywords: *Incisitermes marginipennis*, Teak *Tectona grandis*, naphthoquinones, effect, and repellency.

ÍNDICE

1. INTRODUCCION	5
2. ANTECEDENTES	10
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. HIPÓTESIS	22
5. OBJETIVO GENERAL	23
5.1 Objetivos específicos	23
6. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL.....	24
7. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
7.1 Material biológico	25
7.1.1 Obtención de las naftoquinonas del duramen de <i>Tectona grandis</i>	25
7.1.2 Identificación, purificación y caracterización de las naftoquinonas aisladas de Teca (<i>Tectona grandis</i>)	26
7.2 Termitas <i>Incisitermes marginipennis</i>	27
7.3 Métodos para la determinación de actividad repelente, antialimentaria e insecticida	27

7.3.1 Determinación de la toxicidad del compuesto Cipermetrina (CIP) por Concentración Letal ₅₀	27
7.4 Efecto repelente de los compuestos quinónicos sobre la termita <i>Incisitermes marginipennis</i>	29
7.5 Prueba de elección directa. Efecto disuasivo anti-alimentario de las naftoquinonas del duramen de Teca (<i>Tectona grandis</i>) sobre la termita <i>Incisitermes marginipennis</i> por selección de alimento.....	31
7.6 Resistencia de la madera de baja durabilidad al ataque de termitas <i>Incisitermes marginipennis</i>	32
7.6.1 Impregnación al vacío	32
8. RESULTADOS.....	34
8.1 Rendimiento obtenido	34
8.2 Identificación, purificación y caracterización de las naftoquinonas.....	35
8.2 Obtención del material biológico	45
8.2.1 Termitas <i>Incisitermes marginipennis</i>	45
8.2.2 Efecto de la Cipermetrina en Termita.....	48
8.3 Ensayo con disco doble	51

9. DISCUSIÓN	56
10. CONCLUSIONES	60
11. LITERATURA CITADA	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: árbol de teca <i>Tectona grandis</i> (tomado de INIFAP)	7
Figura 2: ciclo de vida de las termitas (tomado de Termitas© 2021).....	18
Figura 3: porcentaje de dilución para CL50 de la cipermetrina.....	28
Figura 4: Discos impregnados con las diferentes concentraciones en contacto con las termitas <i>Incisitermes marginipennis</i>	29
Figura 5: cromatografía de capa fina, resonancia molecular y resonancia calculada de la molécula de LAPACHOL.	36
Figura 6: cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de la molécula TECTOQUINONA.....	37
Figura 7: cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de la molécula de tecomaquinona I.....	38
Figura 8: cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de DESOXILAPACHOL.....	40
Figura 9: Cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de Deshidro- α -lapachona.	41
Figura 10: cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de TECTOL.	43

Figura 11: Colonia de <i>Incisitermes marginipennis</i> . Características taxonómicas de los individuos ninfas sobre una pieza de madera de pino seca.	46
Figura 12: Termitas de <i>Incisitermes marginipennis</i> en etapa de ninfas alimentándose de papel filtro.	47
Figura 13: Se observa la tabla y grafica del efecto de la cipermetrina sobre la termita <i>Incisitermes marginipennis</i> . En el panel 12A se muestra la pérdida de peso en papel filtro. Imagen 12B se presenta el comportamiento de la cipermetrina en dilución CL50 donde según la concentración en la que se encontraban las termitas presentaban mayoría de decesos.	49
Figura 14: Gráfica y tabla del comportamiento que presentaron las moléculas extraídas del duramen de teca sobre la termita de madera seca <i>Incisitermes marginipennis</i> en la cual de forma ascendente para los controles ya que no dañaron a las termitas ni modificaron su comportamiento destacando de este paso al control con la molécula de 5-hidroxi-1-4-naftoquinona que presentó un comportamiento idéntico a las moléculas extraídas y en menor grado las termitas que sobrevivieron a la prueba destacando entre ellas las moléculas de lapachol y naftoquinona lo cual demuestra que presenta mejor repelencia que las otras moléculas.	50
Figura 15: Comportamiento que presentaron las termitas en contacto con las moléculas extraídas del duramen de teca sobre la termita de madera seca <i>Incisitermes marginipennis</i>	51
Figura 16: Se observan las cajas Petri que contienen los discos Whatman No. 1 con el control y las moléculas extraídas de teca a los 28 días de la prueba donde se observa	

que las moléculas que mejor repelencia y mortalidad tienen son las moléculas de tectoquinonas y las naftoquinonas.	53
Figura 17: Gráfica y tabla de análisis del efecto protector y mortalidad presentada en madera de <i>Pinus ssp</i> de las moléculas extraídas sobre <i>Incisitermes marginipennis</i>	54
Figura 18: Efecto protector de las moléculas extraídas en madera de <i>Pinus spp</i> atacadas por <i>Incisitermes marginipennis</i>	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rendimiento de obtención de las moléculas extraídas.....	34
Tabla 2: crecimiento de la colonia de termita <i>Incisitermes marginipennis</i> en medio aislado.	47
Tabla 3: comportamiento de las moléculas provenientes de teca.	52

1. INTRODUCCION

El árbol de *Tectona grandis* L.f. (también llamada Teca) es una especie de ambiente tropical originaria del sudeste de Asia, presentando importante valor económico y ecológico, plantada especialmente para la promoción de producción de madera, para la construcción, muebles y carpintería en general. Históricamente, la Teca ha sido plantada aproximadamente 100 años atrás en América (Centeno, 1997), este árbol fue distribuido en casi todas las áreas tropicales del planeta. Es capaz de persistir, dominar y regenerarse naturalmente (Nieto, 2013). Es considerada una madera muy valiosa, debido a su alta durabilidad, atractivo color y fuerza, y gracias a su alto contenido de aceites y resinas naturales no se deteriora fácilmente al contacto con el agua y/o metales (Pérez, 2015).

El árbol de Teca se ha cultivado en regiones tropicales de América Latina, África y Asia, con una extensión aproximada de 5 millones de hectáreas, y está en constante aumento. La mayoría de las plantaciones (77 %) es menor de 20 años, y se estima que el volumen de madera talada de bosques nativos de Teca es de 0.5 millones de m³ y en los cultivados de 1.5 a 2 millones de m³, lo que significa un alto volumen en el suministro comercial de troncos con dimensiones pequeñas. (Rodríguez *et al.*, 2014).

La madera de Teca es considerada de alto valor económico comercial, ello debido a su interesante propiedad físico-mecánica que la hacen una de las más apropiadas y durables para la industria de la construcción, fabricación de muebles, puertas, ventanas, además, por su bajo punto de saturación de la fibra y contracciones es considerada de excelente estabilidad dimensional (Singh *et al.*, 2016).

La durabilidad de la madera depende de varios factores inherentes a su naturaleza, uno de ellos es el tipo de madera, ya que por ejemplo en la madera de albura suelen encontrarse sustancias de reserva como azúcares y almidones, que la hacen especialmente apetecible para hongos e insectos xilófagos; por el contrario, la madera de duramen contiene otro tipo de sustancias, propias del proceso de duraminización, que tienen en algunos casos, propiedades inhibitoras para el desarrollo de esos organismos, algunas de estas sustancias son: aceites esenciales, resinas, taninos, gomas, compuestos fenólicos y sustancias hidrosolubles diversas, de alta toxicidad (Tuset *et al*, 1979). Otros factores que también pueden explicar la mayor durabilidad del duramen son: menor contenido de humedad, menor tasa de difusión y el bloqueo de las cavidades celulares por gomas, resinas, tálides en los vasos, etc. (Canessa, 1988).

En madera, la durabilidad natural es entendida como la resistencia intrínseca del material frente a la degradación ocasionada por agentes destructores de la misma (Peraza, 2002). Por este motivo la durabilidad de Teca ha sido evaluada, mostrando el potencial de los extractos etanólicos crudos obtenidos del duramen proveniente de *Tectona grandis* utilizados como preservantes de la madera de baja durabilidad (*Pinus caribaea*) la cual es continuamente atacada por hongos de pudrición marrón y blanca. A grandes rasgos el ensayo consistió en colocar bloques de *P. caribaea* tratados con diversos extractos de *T. grandis* y expuestos a los xilófagos *Gloeophyllum trabeum* y *Trametes versicolor*, provocando una pérdida de peso de 26.98% y 25.02%, respectivamente; así demostrando la efectividad de los extractos en disminuir el deterioro por ataque fúngico (Velásquez *et al.*, 2019).

Aparte de los factores inherentes a la madera, la durabilidad depende también de las condiciones de uso, así, por ejemplo, la madera será más susceptible a ser atacada en condiciones cálidas y húmedas que en climas fríos y secos; por otra parte, la probabilidad de ataque será mayor si ésta se encuentra en contacto directo con el suelo (JAC, 1988).



Figura 1: árbol de teca *Tectona grandis* (tomado de INIFAP)

Kalotermitidae y *Rhinotermitidae*. Se sabe que las especies de termitas invasoras se han extendido a los hábitats naturales, pero se han realizado pocas investigaciones directas sobre sus impactos ecológicos. Las predicciones basadas en investigaciones indirectas (durabilidad natural de las especies de madera comerciales) sugieren que las especies de árboles pioneras de crecimiento rápido con madera de baja densidad, quizás notablemente las leguminosas, son más vulnerables a las termitas invasoras, pero incluso las especies de árboles clímax de crecimiento lento pueden sucumbir. En comparación con otras especies de insectos invasores, las termitas tardan en reproducirse y propagarse. La mayoría de los insectos invasores son solitarios y son plagas de la agricultura y la silvicultura. Estas especies suelen producir muchos descendientes fértiles, tienen múltiples generaciones en un año y, por lo tanto, altas tasas

de multiplicación, y pueden propagarse rápidamente en los amplios campos de monocultivo, horticultura o silvicultura (Evans *et al.*, 2021).

La familia de termitas *Kalotermitidae* está compuesta por casi 500 especies existentes en todo el mundo. Combinadas, las regiones neotropical y neártica representan ciento cincuenta y ocho especies o aproximadamente una cuarta parte de todas las especies de termitas del Nuevo Mundo (Scheffrahn *et al.*, 2019). Los kalotermítidos anidan y se alimentan en galerías excavadas dentro de piezas de madera individuales o muy próximas. Aunque los miembros de *Kalotermitidae* a veces se denominan colectivamente termitas de "madera seca", su dependencia interespecífica del agua puede variar drásticamente. Entre los *Kalotermitidae* del Nuevo Mundo, su madera de origen puede estar libre de exposición a la precipitación la mayor parte del tiempo (*Incisitermes*, *Marginitermes*, *Pterotermes* y *Tauritermes*) o todo el año (*Cryptotermes brevis* (Walker) en todos los casos e *Incisitermes minor* (Hagen) y *Marginitermes hubbardi* (Bancos) infestando la madera estructural).

La termita de la madera seca *Incisitermes marginipennis* (Latrillé), un insecto xilófago que perfora la madera de pino, se considera una plaga que causa daños importantes a los productos de madera. Su presencia en la madera sólo se puede saber cuándo se ha producido un daño considerable como lo demuestran los excrementos. Debido a su estilo de vida críptico, la termita de madera seca es vista como un competidor de las actividades antropogénicas y una plaga extremadamente destructiva y difícil de controlar que daña los activos de celulosa y madera de las personas al alimentarse de ellos. Por ello, es de gran valor el uso de sustancias menos tóxicas para los mamíferos y ecoamigables para la protección del patrimonio doméstico, cultural e histórico de madera o celulosa, que

requieren mantenimiento, conservación y atención frecuente (Ramírez-López *et al.*, 2021).

Un pequeño número de termitas puede causar un gran daño a la baja densidad y durabilidad de la madera seca de *Pinus spp* o *Abies spp*. El control de termitas con productos químicos implica su aplicación a la madera o al suelo, los métodos para eliminar las termitas de la madera seca son la fumigación química usando el fumigante, generalmente fluoruro de sulfuro, bromuro de metilo, o una combinación de bromuro de metilo y dióxido de carbono que se bombea en el edificio. Actualmente se utilizan insecticidas como clorpirifos, bifentrina, imidacloprid, endosulfán y lindano para el control de termitas en la madera almacenada y en los cultivos (Sindhu *et al.*, 2011). Los problemas de contaminación y resistencia de plagas son evidentes, así como el establecimiento de una estricta regulación ambiental en relación con el uso de plaguicidas convencionales. Como consecuencia, los productos vegetales seguros se están probando en todo el mundo como agentes alternativos para el control de plagas. Compuestos repelentes de termitas. *I. marginipennis* es una termita de madera seca que deteriora la madera seca de pino en servicio, es su única fuente de alimento. Se considera plaga cuando aumenta el número de individuos y compite con los productos celulósicos utilizados por el hombre (Raya-González *et al.*, 2013; Ramírez-López *et al.*, 2016).

Se han realizado varios esfuerzos para lograr controlar el crecimiento de insectos con la ayuda de biopesticidas y pesticidas verdes, lo que significa pesticidas naturales que tienen un efecto nocivo parcial o nulo en el entorno y organismos no objetivo, incluidos los humanos, el uso de pesticidas ecológicos. Se necesitan tecnologías para la producción y protección de cultivos y materiales madereros. El renovado interés en el

medio ambiente y las tecnologías ecológicas ha ampliado el alcance del uso de biopesticidas o insecticidas naturales, incluidos los derivados de plantas y los agentes de biocontrol. El objetivo final es conseguir alimentos libres de residuos de plaguicidas para el consumo humano dentro del país y para la exportación. Los productos naturales derivados de plantas poseen baja toxicidad para los mamíferos, no hay riesgo de desarrollar resistencia a las plagas, son menos peligrosos para los organismos no objetivo y son menos costosos y fácilmente disponibles (Mishra *et al.*, 2020).

Las diferentes partes de las plantas como hojas, frutos, cortezas, raíces, flores, tallos, resinas, etc., y muchos científicos de todo el mundo las utilizan para aprovechar su competencia en el control de plagas. Los botánicos utilizados en este propósito tienen bajo costo y están presentes localmente; son altamente efectivos en el control de termitas. Los estudios de laboratorio y de campo tienen estudios de renombre que muestran una amplia gama de plantas con propiedades tóxicas y repulsivas y antialimentaria contra las termitas, muchas han sido bien estudiadas para usar como extractos insecticidas, fueron probados.

2. ANTECEDENTES

Importancia económica del árbol de teca *Tectona grandis*.

Es importante mencionar que, la Teca no es una especie de crecimiento rápido, pero puede producir una madera de resistencia óptima en rotaciones relativamente cortas (21 años), siempre dependiendo de los porcentajes de albura-duramen (Galeano *et al.*, 2015). Puede crecer en una amplia gama de condiciones climáticas y edáficas, y con la finalidad de tratar diversos malestares físicos, todas las partes de la teca incluida la

corteza, hojas, tallo, raíz, su flor y hasta la semilla, es común verse utilizada en la medicina tradicional de diversas regiones del país. Su atractivo potencial farmacológico, como el citotóxico (ácido eláxico), antimaterial (juglona), antifúngico (desoxilapacol y tectoquinina), antioxidante (ácido gálico, ferúlico y quercetina), antidiabético, antiinflamatorio y tocolítico, han sido de gran interés biotecnológico (Singh *et al.*, 2017).

Por otra parte, se han realizado varias investigaciones sobre su mejoramiento, sobre las plantaciones y el crecimiento de la Teca para desarrollar variedades de alta productividad y calidad. Se ha obtenido abundante variación genética en los rasgos fotosintéticos y crecimiento entre los clones de Teca, relaciones entre oligoelementos en suelo cultivado o secciones dobladas y propiedades. Sin embargo, no es común encontrar información sobre la composición química; dado que dicha característica es uno de los factores más importantes para sus propiedades (Qiu *et al.*, 2019).

El nivel mundial de madera almacenada representa más de 73 millones de toneladas de carbono (Pan *et al.*, 2011) lo cual proporciona hábitat para una gran variedad de organismos saproxílicos los cuales habitan madera muerta (Stokland *et al.*, 2012). Comprender la velocidad, mecanismos y control de la descomposición de la madera es de gran importancia ecológica, económica, y la clave para hacerlo radica en comprender las comunidades microbianas que afectan y regulan la descomposición. Los hongos son los agentes dominantes de la descomposición de la madera, pero se sabe desde hace tiempo que las bacterias también habitan madera muerta (Greaves, 1971).

Importancia química y tecnológica del árbol de teca (*Tectona grandis*)

Las plantas, como parte de su metabolismo secundario producen y concentran una amplia gama de compuestos (Ávalos *et al.*, 2009), que influyen en su protección e interacción con el ambiente biótico. Por ejemplo, se ha demostrado cuantitativamente qué diversos componentes químicos de madera de Teca originaria de la provincia de Yunnan en China, utilizando acetona para obtener los compuestos extraíbles del duramen y albura de la Teca (Flores *et al.*, 2014) que también, fueron analizados a través de tecnología de cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS), encontrando diferencia en la composición entre las dos partes (duramen y albura). Es decir, el compuesto como la tectoquinona fue el primero que se aisló, y desde entonces los investigadores han encontrado sucesivamente varios compuestos quinónicos en diferentes tejidos de Teca. Actualmente, se han aislado al menos 92 metabolitos, que incluyen quinonas, terpenoides, apocarotenoides, fenólicos y flavonoides, a partir de raíz, hoja y duramen. Sin embargo, aún existen dudas sobre la información de la cantidad y función de estos productos químicos, resultando necesario enfocar esfuerzos a esta línea de investigación (Qiu *et al.*, 2019).

Los metabolitos secundarios en las plantas son clasificados de acuerdo con su biosíntesis, como por ejemplo terpenoides, compuestos fenólicos y derivados, o alcaloides (Ávalos *et al.*, 2009). Estos compuestos naturales y sus derivados son una interesante alternativa al uso de varios fármacos, ya que, se ha demostrado que tienen efectos secundarios menores a los productos sintéticos comparativos. Entre los químicos naturales y derivados sintéticos se encuentran las naftoquinonas, un prometedor grupo de compuestos que han demostrado tener propiedades antibacterianas (Lima *et al.*, 2004; Salas *et al.*, 2008), antifúngicas (Salas *et al.*, 2008; Veshkurova *et al.*, 2006), antivirales (Iwata *et al.*, 2003; Misono *et al.*, 2003), antitumorales (Peña-Lopez *et al.*, 2010; Fieser *et*

al., 1967) y antipalúdicas (Fieser *et al.*, 1967; Bullok *et al.*, 1970) entre otras (López *et al.*, 2011).

Por la composición orgánica de la madera, es considerado un biomaterial susceptible al deterioro biológico. En general, está constituida por celulosa 40-61%, hemicelulosa 15-30% y lignina 17-35%, particularidad que la hace una excelente fuente de carbono para sostener el ciclo de vida de una gran cantidad de organismos. La madera en uso frecuentemente está expuesta a organismos tales como, bacterias, algas, hongos e insectos, que al nutrirse de las macromoléculas constituyentes provocan su degradación y con ello disminuyen sus propiedades físico-mecánicas y prestaciones (Ibáñez, 2012).

En el reino monera, dentro de la diversidad bacteriana existe una gran cantidad de géneros con especies capaces de deteriorar la madera al degradar la lignina y modificar su estructura (Sing *et al.*, 2016). Por su parte, las termitas de madera seca al igual que todas las termitas, son insectos sociales, agrupados en clases (reina, rey, obreros, soldados y ninfas), viven en colonias poco numerosas, no requieren suministros especiales de agua, basta con el contenido de humedad de la madera. Abren las galerías en madera o aprovechan grietas y ranuras; los obreros hacen agujeros pequeños, conectados con el exterior, por donde secretan restos de lignina. No requieren de una reina para una nueva colonia (Alexander, 2007).

Hay indicios de una gran diversidad bacteriana dentro de la madera (Zhang *et al.*, 2008; Petrovsky' *et al.*, 2011; Sol *et al.*, 2014; Hoppe *et al.*, 2015), pero las bacterias son muy poco entendidas en comparación con los hongos en el mismo ambiente. Donde quiera que coexistan bacterias y hongos, deben interactuar e influirse mutuamente; sin embargo, aunque los hongos de la caries son bien conocidos por ser altamente competitivos

(Boddy, 2000), se ha prestado relativamente poca atención al hongo de (Boer *et al.*, 2005). Las interacciones entre hongos y bacterias ya se han estudiado en otros contextos por su importancia en medicina, agricultura y alimentos y bebidas (FreyKlett *et al.*, 2011), pero se han explorado mucho menos con respecto a descomposición. El conjunto de bacterias que rodea e interactúa con un hongo constituye efectivamente su microbioma, y como tales, deben ser considerados juntos. Existe una dicotomía distinta entre las termitas que se describen como "plagas" que atacan la madera estructural, los pastizales, los cultivos y los árboles, la literatura ecológica sostiene que proporcionan varios servicios ecosistémicos como: (1) contribuir al consumo y mineralización de materiales vegetales y animales; (2) incrementar la diversidad de vegetación, animales y comunidades microbianas; y (3) alteración de las propiedades químicas y físicas de los suelos (Jouquet *et al.*, 2011).

El efecto sobre los suelos es mencionado por varios autores; Khan y colaboradores enfatizan el papel de las termitas como ingenieros y procesadores de suelos, en especial dado que frecuentemente son muy abundantes, representan una biomasa significativa y construyen extensas redes de galerías y nidos, por lo tanto, tienen un impacto significativo en la pedogénesis, propiedades y funciones del suelo. Los suelos poblados por termitas tienen mejor drenaje, son más estables y tienen niveles más altos de materia orgánica del suelo. Además del impacto de las termitas en los ecosistemas, también se han utilizado en investigación científica, medicina y tecnología (por ejemplo, biónica, geología) (Anyango *et al.*, 2019).

Anteriormente, en diversos estudios se ha demostrado que el tratamiento "presión-vacío" en especies de madera poco duraderas, con extractos de duramen de especies de

madera durables pueden aumentar la durabilidad intrínseca de la madera no duradera. Es por ello, la necesidad e interés de una mayor investigación sobre este concepto de durabilidad transferible utilizando compuestos naturales en el desarrollo de sistemas de conservación de madera que sean más respetuosos con el medio ambiente (Hassan *et al.*, 2018). La modificación de la madera con productos químicos no tóxicos, mediante la aplicación de modificaciones químicas en especies de baja durabilidad, principalmente madera acetilada y furfurilada, pueden transformarse fácilmente en productos completamente nuevos con propiedades mejoradas; este enfoque, por lo tanto, según algunos autores, puede considerarse como la solución definitiva al problema (Papadopoulos *et al.*, 2019).

Por su parte, se ha indicado que la durabilidad natural de la madera de teca se puede atribuir a la presencia de extractos tóxicos, como antraquinonas y naftoquinonas, la principal sustancia que influye en la durabilidad natural de la madera de teca es la tectoquinona. Otro estudio indicó que la 1,2-hidroximetil antraquinona y tectoquinona podrían ser responsables de la durabilidad natural de la teca (Yang *et al.*, 2020).

La durabilidad natural es una propiedad importante para considerar al evaluar la calidad y el valor de la madera, y está estrechamente relacionado con su composición química, especialmente la presencia de extractos de madera. La durabilidad del duramen presenta un alto grado de variabilidad en la teca. La madera de teca juvenil en condiciones de plantación de rápido crecimiento tiene menor durabilidad natural que la teca madura y cultivada naturalmente, debido a su bajo contenido de extracción. Además, la albura de la teca es menos duradera que el duramen, principalmente debido a la presencia de

carbohidratos no estructurales y al bajo contenido de extracción de la albura (Yang *et al.*, 2020).

Un estudio reciente, identificó cuantitativamente los componentes químicos de teca (provincia de Yunnan en China). Utilizando acetona para extraer los compuestos del duramen y albura. Los extractos se analizaron respectivamente mediante cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS) para encontrar la diferencia en la composición entre las dos partes. La tectoquinona fue el primer compuesto que se aisló del extracto, y desde entonces los investigadores han aislado sucesivamente varias quinonas de diferentes tejidos de teca. Actualmente, se han aislado 92 metabolitos, que incluyen quinonas, terpenoides, apocarotenoides, fenólicos y flavonoides, a partir de raíz, hoja y duramen de la teca. Sin embargo, la información sobre la cantidad y función de estos productos químicos es todavía muy limitada y necesita ser explorada más a fondo (Qiu *et al.*, 2019).

En otro trabajo realizado en 2013, se demostró que el extracto de hoja de *Tectona grandis* presenta bioactividad, debido a la presencia de dos quinonas: naftotectona y antratectona; reportando que tienen actividad antibacteriana y buenas propiedades antirradicales. También, se encontró el compuesto: 5-hidroxi lapachol, que fue aislado de la raíz de *T. grandis* y se informó que es biológicamente activo (Tamokou *et al.*, 2013). Las moléculas que destacan en teca son derivados de los compuestos aromáticos llamadas así naftoquinonas de las cuales se caracterizan sus colores derivándose a si desde amarillo pasando por la naranja hasta llegar al color rojo de estas hablaremos de las moléculas llamadas Lapachol, Tectoquinona, Desoxilapachol, Deshidro- α -lapachona y Tectol.

2.3 Termita *Incisitermes marginipennis* (Latreille)

La termita *Incisitermes marginipennis* (Latreille): son en general un grupo de insectos poco estudiado, en México se reportan 79 especies, aunque se calcula que pueden existir hasta 150 especies (Canello y Myles, 2000). Para la mayoría de ellas aún se desconoce su biología y su función en muchos de los ecosistemas por lo que se carece de información sobre su diversidad (Black *et al.*, 1997). Son numerosas las especies de Isoptera que habitan en los suelos, ya sea dentro de la madera (termitas de madera seca y húmeda) o bien dentro del suelo (termitas subterráneas). La familia Kalotermitidae constituye un grupo importante en México y representa un centro de diversidad en el continente americano (Cibrián *et al.*, 1995; Equihua *et al.*, 2001).

CICLO DE VIDA DE LAS TERMITAS

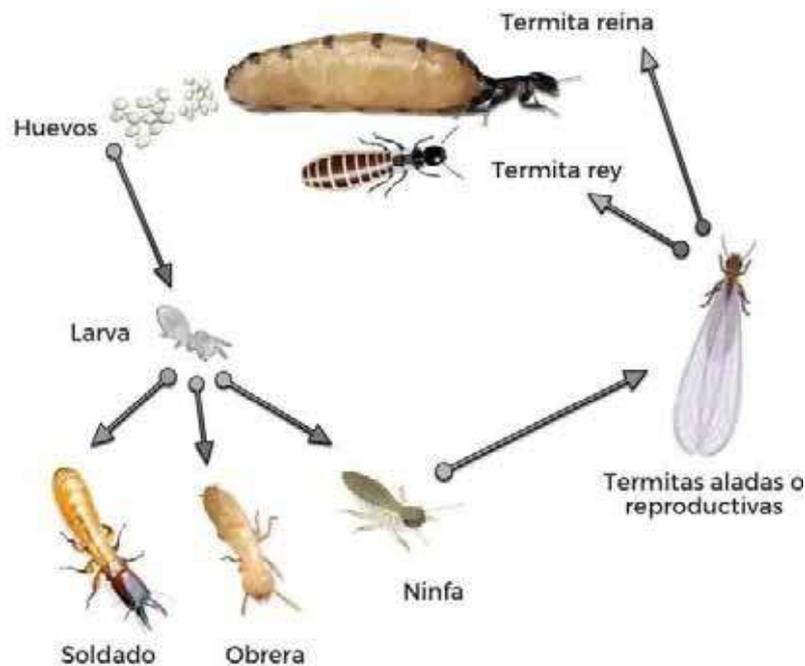


Figura 2: ciclo de vida de las termitas (tomado de Termitas© 2021).

2.4 Mecanismos de control sobre la termita *I. marginipennis*

En la actualidad, existen al menos dos efectivas opciones para el control de termitas subterráneas, son el tratamiento del suelo y el cebo. Los tratamientos del suelo se realizan típicamente con grandes volúmenes de termitocidas líquidos neurotóxicos o inhibidores de la respiración mitocondrial. También se sabe que las termitas pueden dañar una variedad de materiales que van desde tejidos de papel hasta incluso materiales no celulósicos como asbesto, betún asfáltico, plomo y lámina metálica. Los insectos fitófagos utilizan sustancias volátiles de las plantas para reconocer sus plantas hospedantes. Por lo tanto, el uso de aceites esenciales como emisión volátil no hospedante para repeler las plagas de insectos son una alternativa viable para el control

biológico. La alta toxicidad de los biocidas y consecuencias medioambientales inaceptables, han dado lugar a graves restricciones. El uso de plaguicidas sintéticos para el control ha dado lugar a muchos problemas, como la toxicidad de organismos no objetivo y la exposición a plaguicidas y residuos en los alimentos. En la búsqueda de alternativas, el uso de productos vegetales naturales para la protección de la madera ha atraído mucha atención (Abdullah *et al.*, 2015).

En las últimas décadas, ha habido un aumento constante en la cantidad de pesticidas utilizados. El uso excesivo de pesticidas en una variedad de situaciones de manejo de plagas, incluida la agricultura comercial, el cuidado del césped/paisajismo, silvicultura y conservación de la madera, puede provocar la contaminación del suelo, agua y destrucción de la biodiversidad, que son las consecuencias de la destrucción del hábitat de las plagas por la actividad humana. Según el informe de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), se usaron alrededor de 5 mil millones de libras de ingredientes activos de pesticidas en todo el mundo y de esa cantidad, aproximadamente 1 mil millones de libras se utilizan para el control de termitas (Chin *et al.*, 2020).

El enfoque moderno de modificación de la madera, en contraste con los conservantes de madera más tradicionales, es modificar la matriz de la madera para que ya no pueda actuar como un sustrato adecuado para los organismos que degradan la madera. Autores como Hill han descrito en detalle diferentes enfoques de modificación de la madera. Actualmente, los procesos que subyacen a los productos de modificación de la madera disponibles pueden clasificarse en procesamiento químico (acetilación, furfuralización, impregnación de resina, etc.), termo-hidro procesamiento (tratamiento térmico) y procesamiento termo-hidro mecánico (densificación superficial). Los diferentes procesos

de modificación de la madera se encuentran en diversas etapas de desarrollo, y los procesos más establecidos en el mercado incluyen el tratamiento térmico, acetilación y furfurilación (Skrede *et al.*, 2019).

3. JUSTIFICACIÓN

Las distintas propiedades atribuidas a los compuestos bioactivos de *T. grandis* en específico a las naftoquinonas que están presentes en el duramen de teca, en el cual se muestra que este grupo de compuestos tiene un gran potencial para su estudio en el control de la termita de madera seca *Incisitermes marginipennis* y su capacidad de transferencia de resistencia en maderas de baja durabilidad.

4. HIPÓTESIS

Las naftoquinonas presentes en el duramen de *T. grandis*, individualmente poseen la capacidad generar un control biológico sobre la termita *Incisitermes marginipennis* comparable en algunos casos con insecticidas de uso comercial.

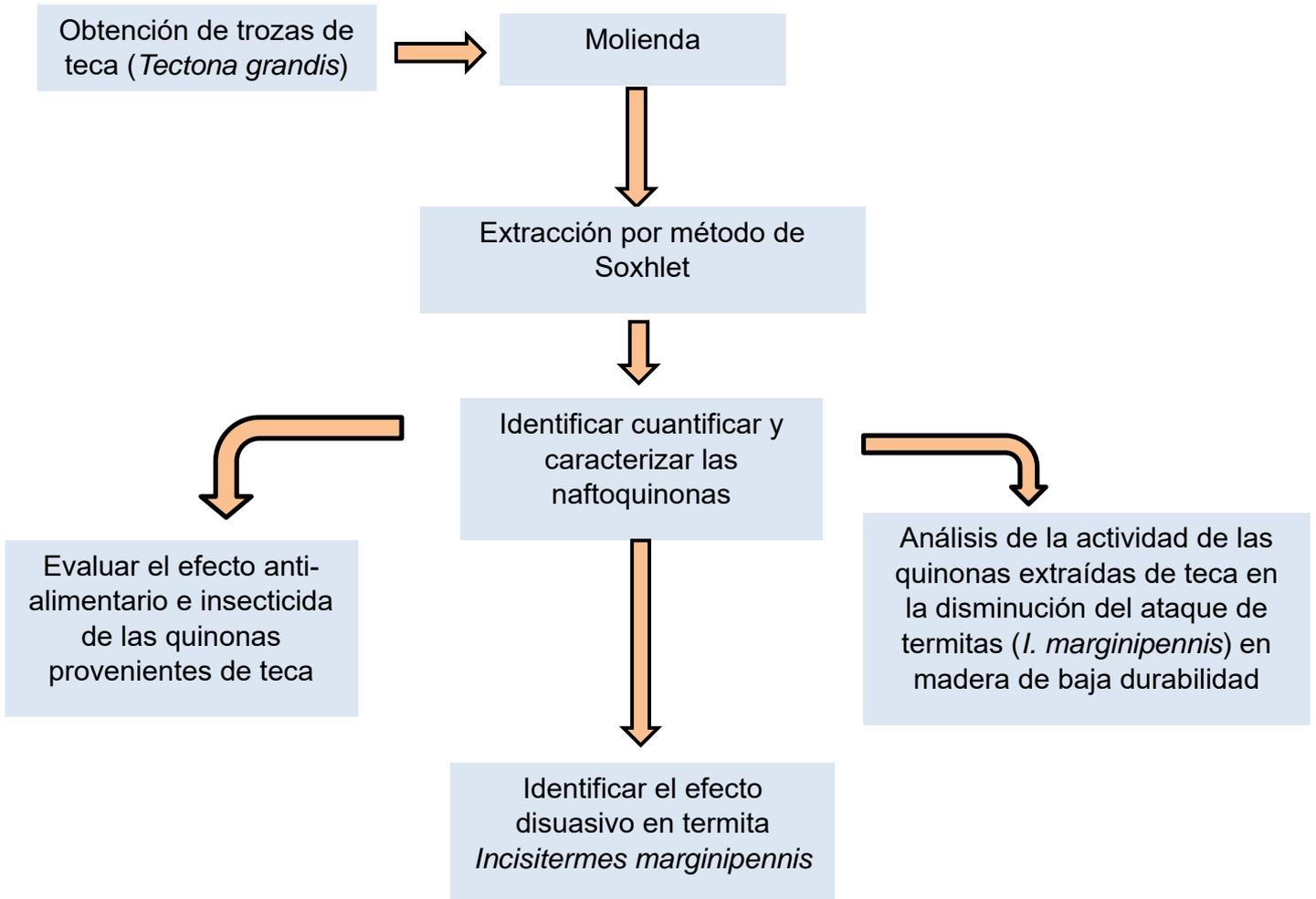
5. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de control de las naftoquinonas extraídas del duramen de Teca (*Tectona grandis*) sobre la termita de la madera seca *Incisitermes marginipennis*.

5.1 Objetivos específicos

- Extraer, identificar, purificar y caracterizar las naftoquinonas del duramen de Teca (*Tectona grandis*).
- Realizar una CL50 de cipermetrina y observar el comportamiento sobre la termita de madera seca *Incisitermes marginipennis*.
- Determinar el efecto disuasivo (repelente) de las naftoquinonas extraídas de Teca (*T. grandis*) en la termita *Incisitermes marginipennis*.
- Analizar la actividad de las naftoquinonas extraídas de Teca (*T. grandis*) para disminuir el ataque de la termita *Incisitermes marginipennis* en madera de baja durabilidad.

6. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL



Nota: para las evaluaciones se realizará una:
Determinación de CL50 cipermetrina

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Material biológico

Duramen de *Tectona grandis*. Las rodajas de madera de Teca (*Tectona grandis*) se recolectará en una plantación comercial del Rancho Guadalupe ubicado en el municipio de Nuevo Urecho, Michoacán, México. El duramen será seleccionado de las trozas colectadas de Teca, el cual será cortado en pequeños fragmentos en forma de astilla utilizando formón y martillo. Las astillas serán trituradas en molino hasta la obtención de un polvo fino, el cual se dejará expuesto al aire libre para la pérdida de humedad.

7.1.1 Obtención de las naftoquinonas del duramen de *Tectona grandis*

Con la harina obtenida con anterioridad y siguiendo lo establecido por Gupta y Singh (2004), se realizó la extracción de compuestos quinónicos: la harina obtenida se ensayó a través de una extracción por reflujo en equipo Soxhlet durante 6 horas y utilizando cloroformo (CAS 67-66-3) como solvente en proporción 1:12.5 (peso/volumen). Posteriormente, usando 200 mL de la solución 2 N de Na₂CO₃ (carbonato de sodio anhidro CAS 497-19-8) (en proporción 1:1 con la solución clorofórmica) (ver imagen 1) para separar las soluciones ácida y neutra, verificando su naturaleza con ayuda de un equipo potenciómetro (PH130). La solución neutra o acuosa fue sometida a una reacción con (20mL/) 6 N de HCl para obtener Lapachol (LAP) 4-hidroxi-3-(3-metilbut-2-enil) naftaleno-1,2-diona. La solución acida fue fraccionada mediante cromatografía en columna sobre Silica Gel G / UV254 (desactivada con ácido acético al 10%), obteniendo hasta 4 fracciones (A-D). La A se someterá a cristalización con metanol (10 mL) para obtener Tecomaquinona 1, La B: fue separada mediante Cromatografía en capa fina 5

(TLC) preparativa con benceno (250 mL) (Benzol cas: 71-43-2) como fase móvil, para obtener Tectoquinona (TEC) (2-metilanthraquinona) y Desoxilapachol (NAF) (2-(3-metil-2-butenil)-1,4-naftoquinona). La C, fue cristalizada con cloroformo (20 mL), hasta obtener Deshidro- α -lapachona (LAP) (2,2-dimetilbenzo[g]cromeno-5,10-diona). La D fue nuevamente fraccionada utilizando TLC con benceno y acetato de etilo (250 mL) como fase móvil, en proporción 1:1 hasta obtener Tectol (TECL) 5-(6-hidroxi-2,2-dimetilbenzo[h]cromen-5-il)-2,2-dimetilbenzo[h]cromen-6-ol Finalmente, los compuestos obtenidos fueron almacenados en refrigeración a 4°C (LG Mod.GF22BGSK) y en recipientes color ámbar. Posteriormente, para la identificación de los compuestos obtenidos, fueron analizados mediante resonancia magnética nuclear (^1H (RMN ^1H) en equipo Espectrómetro varían Mercuri plus a 200 MHz, y Cromatografía de Gases (Agilent Technology modelo 6890 plus), acoplado a un espectrómetro de masas (Mod 5973N). La información obtenida en los equipos mencionados fue corroborada utilizando el software Interactive Spectroscopy (Advanced Chemistry Development, Inc 2022).

7.1.2 Identificación, purificación y caracterización de las naftoquinonas aisladas de Teca (*Tectona grandis*)

Utilizando la técnica de cromatografía en capa fina (CCF) se realizó la identificación y purificación de los compuestos obtenidos (Lapachol, Tectoquinona, Desoxilapachol, Deshidro- α -lapachona y Tectol) en base a técnicas cromatográficas como: Polaridad de las moléculas mediante cromatografía en Capa Fina, Cromatografía en Columna (MN silica gel G/ UV 254) de la cual se obtuvieron 5 diferentes fases que fueron analizadas mediante resonancia magnética nuclear (^1H (RMN ^1H) (Espectrómetro varían Mercury plus a 200 MHz, Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas de la Universidad

Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). La caracterización de los compuestos se realizó utilizando el software Interactive Spectroscopy (Advanced Chemistry Development, Inc 2022).

7.2 Termitas *Incisitermes marginipennis*

Las colonias de termitas de madera seca serán recolectadas a partir de madera de pino infestada que será obtenida en Morelia, Michoacán. La especie de los insectos será determinada de acuerdo con las claves taxonómicas para la morfología de la termita soldado y las alas de los reproductores (Krishna y Weesner, 1969; Nickle y Collins, 1988). Tras la identificación, una colonia de termitas de la especie *Incisitermes marginipennis* Latreille (Isoptera: Kalotermitidae) será cultivada en una rodaja de madera de pino dentro de un contenedor en condiciones ambientales reguladas, a una temperatura de 25 ° C y oscuridad durante un periodo de 30 días, para su mantenimiento y aclimatación previa a la realización de las distintas pruebas.

7.3 Métodos para la determinación de actividad repelente, antialimentaria e insecticida

7.3.1 Determinación de la toxicidad del compuesto Cipermetrina (CIP) por Concentración Letal₅₀

En este ensayo se utilizó el “Brine Shrimp Lethality Test” (BSLT). Este método es ampliamente utilizado para la detección de compuestos bioactivos en extractos crudos de plantas, aunque también se le ha empleado para determinar la toxicidad de algunos

extractos de plantas, determinación de metales pesados, pesticidas, aditivos para comidas y algunas drogas (Mirzaei, *et al.* 2013).

El ensayo se diseñó como lo muestra la Figura 2 y 3, en donde se obtuvieron los tratamientos Control Ag (0.1 mL de agua destilada estéril libre de CIP), Etanol (0.1 mL de metanol libre de CIP), Cloroformo (0.1 mL de cloroformo libre de CIP), CL1 (0.1 mL de cipermetrina a 0.015 mg/mL), CL2 (0.1 mL de cipermetrina a 0.03 mg/mL), CL3 (0.1 mL de cipermetrina a 0.06 mg/mL), CL4 (0.1 mL de cipermetrina a 0.12 mg/mL), CL5 (0.1 mL de cipermetrina a 0.24 mg/mL) y CL6 (0.1 mL de cipermetrina a 0.48 mg/mL).

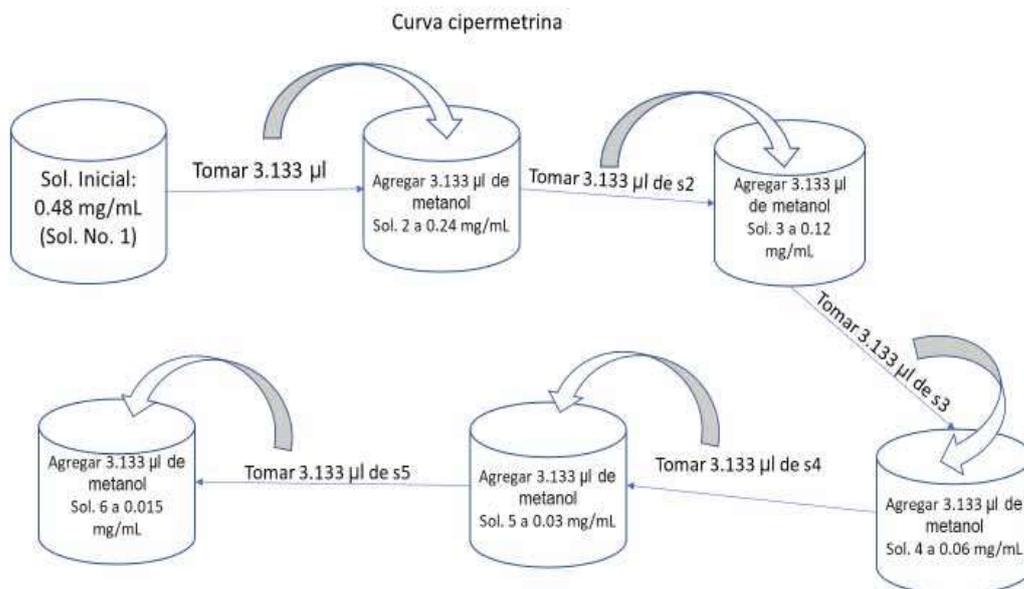


Figura 3: porcentaje de dilución para CL50 de la cipermetrina.

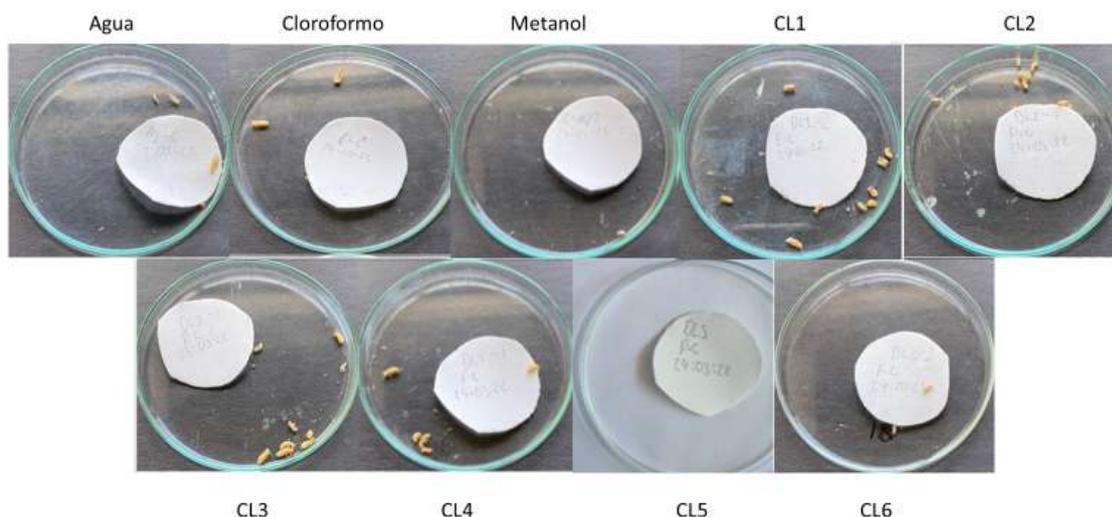


Figura 4: Discos impregnados con las diferentes concentraciones en contacto con las termitas *Incisitermes marginipennis*.

7.4 Efecto repelente de los compuestos quinónicos sobre la termita *Incisitermes marginipennis*

Los compuestos de naftoquinonas obtenidos con anterioridad Tecomaquinona I, Lapachol (2-hidroxi-3-(2-metil-1-propenil)-1,4-naftoquinona), Tectoquinona (2-metilanthraquinona), Desoxilapachol (2-(3-metil- 2-butenil)-1,4-naftoquinona), Deshidro- α -lapachona (2,2-dimetil-2H-nafto[2,3-b]piran-5,10-diona) y Tectol 5-(6-hidroxi-2,2-dimetilbenzo[h]cromen-5-il)-2,2-dimetilbenzo[h]cromen-6-ol, fueron ensayados para determinar su actividad repelente hacia la termita *I. marginipennis*, siguiendo la metodología descrita por Ganapaty *et al.*, 2004. Se prepararon discos de papel filtro Whatman No. 1 con 5 cm de diámetro (cat no. 1001-090), de las cuales el porcentaje a utilizar fue basado sobre la respuesta de la Cipermetrina con la Concentración Letal 50. El ensayo consistió en: utilizando placas Petri y discos de papel filtro de 5 cm de diámetro (Whatman No. 1) se colocaron en placas de vidrio, adicionando en el centro del disco 100

μL de solución que contenían cada uno de los compuestos extraídos (a una concentración de 0.24 mg/mL). Obteniendo así los siguientes tratamientos; Ag (papel filtro adicionado con 100 μL de agua destilada estéril), Cloroformo (papel filtro adicionado con 100 μL de Cloroformo CAS 67-66-3), Etanol (papel filtro adicionado con 100 μL de etanol CAS 64-17-5). NafE (papel filtro acondicionado con 100 μL de Desoxilapachol a una concentración de 0.24 mg/mL). Tec (papel filtro adicionado con 100 μL de Tectoquinona a una concentración de 0.24 mg/mL). DaL (papel filtro adicionado con 100 μL de Deshidro- α -lapachona a una concentración de 0.24 mg/mL). Teco (papel filtro adicionado con 100 μL de Tecomaquinona I a una concentración de 0.24 mg/mL). TECL (papel filtro adicionado con 100 μL de Tectol a una concentración de 0.24 mg/mL. Lapachol (LAP) o 2-hidroxi-3-(3-metil-2-butenil)-1,4-naftoquinona. Las placas se dejarán abiertas a temperatura ambiente 28° C para permitir la evaporación de los distintos solventes durante 2 horas.

Posteriormente, se colocaron 10 termitas ninfas de *I. marginipennis* en cada caja por tratamiento las cuales fueron 3 repeticiones por cada molécula y se colocaron en condiciones de oscuridad en una caja de cartón sellada y forrada con papel oscuro para no permitir la entrada de luz solar a 28°C. Posteriormente se realizó un conteo a los 10 min de haber iniciado la prueba, cuantificando el número de termitas que permanecen en el centro de la placa y en la periferia para a si determinar con el paso de una hora la prueba destacando los valores iniciales y finales.

7.5 Prueba de elección directa. Efecto disuasivo anti-alimentario de las naftoquinonas del duramen de Teca (*Tectona grandis*) sobre la termita *Incisitermes marginipennis* por selección de alimento.

La prueba de elección directa se llevó a cabo según lo reportado por Ganapaty *et al.*, (2004), donde se utilizaron dos discos de papel filtro Whatman No. 1 (CAT No.1001-090) cada uno con un diámetro de 2.5 cm, los cuales fueron colocados en los extremos de una placa de Petri de vidrio (abierta). La prueba se realizó impregnando un disco de papel con 100 μ L del compuesto a analizar, Lapachol, Tectoquinona, Desoxilapachol, Deshidro- α -lapachona, Tectol y Tecomaquinona I a 0.24 mg/mL. y el tratamiento control (5-hidroxi-1-4-naftoquinona, Cloroformo, Etanol y Agua destilada). Después, en los tratamientos fueron colocadas 10 termitas ninfas de *I. marginipennis* y llevadas a condiciones de oscuridad utilizando una caja de cartón, sellada y forrada con papel oscuro para no permitir la entrada de luz solar a 28°C. Se realizaron 5 réplicas para cada prueba, se evaluó el comportamiento de las termitas que fue monitoreado durante el tiempo de la prueba con revisiones cada 3 horas destacando la revisión final donde se abstuvieron los siguientes datos.

7.6 Prueba de No elección y Efecto tóxico.

Efecto anti-alimentario de las quinonas sobre la termita *Incisitermes marginipennis* por alimentación forzada. Utilizando discos de papel filtro Whatman No. 1 (cat no. 1001-090) de un diámetro de 5 cm previamente pesados, fueron impregnados en individual con 1000 μ L de las soluciones de quinonas obtenidas de teca: Lapachol, Tectoquinona, Desoxilapachol, Deshidro- α -lapachona y Tectol a 0.24 mg/mL. y sus respectivos

controles (Agua destilada, Cloroformo, Etanol y 5-hidroxi-1-4-naftoquinona), permitiendo la evaporación de los distintos solventes y después se colocaron en una placa Petri. Se introdujeron 10 termitas ninfas de *I. marginipennis* por cada tratamiento 3 réplicas y se almacenarán en oscuridad a 28 ± 2 °C en una incubadora marca Felisa y 80% de humedad relativa midiéndola con un Termómetro Higrómetro Digital marca Loriskors. La mortalidad se registró después de los 28 días de realizada la prueba.

7.6 Resistencia de la madera de baja durabilidad al ataque de termitas *Incisitermes marginipennis*.

7.6.1 Impregnación al vacío

Para determinar la resistencia de la madera de pino al ataque de las termitas *Incisitermes marginipennis*, se siguió la metodología establecida para la prueba AWPA (American Wood Protección Association) con algunas modificaciones (AWPA, 2015), en donde, piezas de madera de *Pinus sp.* (19 × 19 × 19 mm) fueron acondicionadas, sometiéndose a pérdida de humedad (100°C en una estufa Red Line by Binder modelo Re 53) hasta peso constante, considerado el peso inicial (con una balanza analítica marca Adam equipment SPB 2103 i) de cada pieza. Posteriormente, las piezas se fueron impregnadas con las soluciones de las naftoquinonas: Lapachol, Tectoquinona, Desoxilapachol, Deshidro- α -lapachona, Tectol y Tecomaquinona I a 0.24 mg/mL, y el tratamiento con el control (Agua destilada, Cloroformo, Etanol y 5-hidroxi-1-4-naftoquinona). Las piezas de madera fueron tratadas utilizando una bomba de vacío (Laboratorio de Anatomía de la Madera-UMSNH) (Bomba de bajo vacío modelo fe-1500 73.4 L/min a una presión de 500

mm Hg) donde previamente se habían impregnado de las naftoquinonas y controles para mejorar la penetración de la madera por vacío.

Los bloques se mantuvieron durante 60 minutos en una cámara de presión al vacío con un diámetro de 31.75 cm x 38.74 cm de alto diámetro y después fueron secados, pesados y acondicionados para inicio del experimento. 25 piezas de madera por tratamiento se colocaron en un recipiente cilíndrico plástico (10* 25 cm), y en donde cuidadosamente fueron colocadas 30 termitas ninfas (*I. marginipennis*) por frasco, y trasladados a una incubadora bajo condiciones de oscuridad a 28°C y 75-80% de humedad relativa durante 28 días (Termómetro Higrómetro Digital marca Loriskors). Después de los 28 días, fue contabilizado el número de termitas vivas, y las piezas de madera se limpiaron cuidadosamente con una brocha Brocha Comex 1 1/2 pulgadas para eliminar los restos y desechos generados durante el tiempo de la prueba, se reacondicionaron para determinar la pérdida (balanza analítica marca Adam equipment SPB 2103 i).

8. RESULTADOS

8.1 Rendimiento obtenido

Al obtener las harinas tamizadas de cada zona de las dos rodajas seleccionadas, fueron pesadas y los datos se reportan en la tabla 1.

Los resultados obtenidos mostraron una alta presencia de compuestos extraíbles con relación al material utilizado, ya que, después de veinte ensayos y empleando 20 g de harina de duramen en cada uno de ellos, se obtuvieron en total 18.5 g de compuestos extraíbles.

Por otra parte, en la tabla no.2 se observa el rendimiento obtenido durante la extracción de las diferentes moléculas de naftoquinonas de estas mismas la que presento mejor rendimiento fue la molécula de Desoxilapachol (naftoquinona) seguida por la molécula de lapachol y la molécula que presento menor rendimiento fue la de Tecomaquinona I.

Tabla 1: Rendimiento en peso de las moléculas extraídas.

QUINONA	Lapachol	Tectoquinona	Desoxilapachol (Naftoquinona)	DαL	Tectol	Tecomaquinona I
Peso obtenido (mg)	30	28	42	12	7	5

8.2 Identificación, purificación y caracterización de las naftoquinonas

Por medio de herramientas cromatográficas como CCF, se realizó la identificación y purificación de los compuestos obtenidos (Lapachol, Tectoquinona, Desoxilapachol, Deshidro- α -lapachona, Tectol y Tecomaquinona I), encontrando que: En la figura 4A se muestra la CCF, observando la presencia de la molécula Lapachol según el porcentaje de solvente utilizado, en el panel 4B se observa el cromatograma derivado de la resonancia magnética nuclear, mostrando la presencia de anillos aromáticos entre 120 y 145 ppm y entre 20 y 40 se muestra la presencia de grupos alifáticos y zona de grupos éster. En el panel 4C se observa una resonancia calculada de las señales y los picos observables y presentes en esta fracción.

En la figura 5A se observa la cromatografía de capa fina que se realizó en la determinación de la presencia de la molécula, en la figura 5B se observa la resonancia magnética nuclear en equipo Espectrómetro Varían Mercury plus a 200 MHz. donde se observan las señales características de las moléculas y en la 5C se observa la resonancia calculada por el programa Interactive Spectroscopy en el cual se formuló la molécula y este nos calculó las señales y picos que nos pueda arrojar el Lapachol y esto nos facilita su identificación.

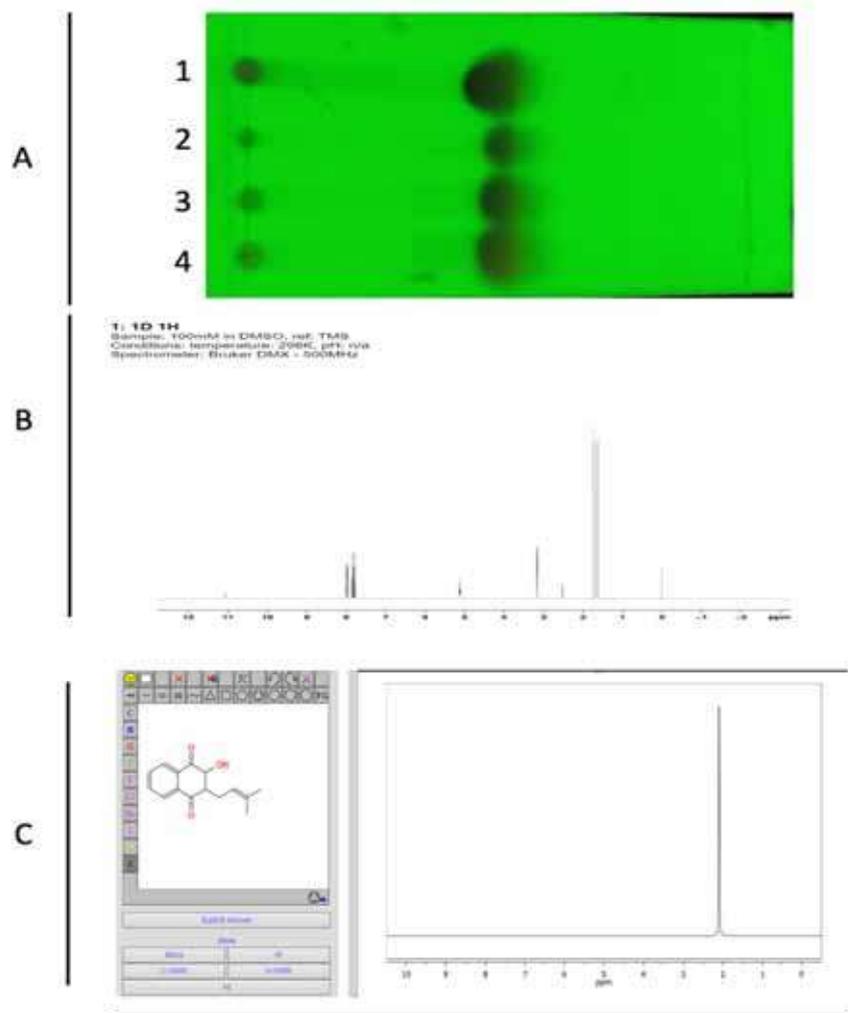


Figura 5: cromatografía de capa fina, resonancia molecular y resonancia calculada de la molécula de LAPACHOL.

Para el desplazamiento de los grupos alifáticos los cuales se encuentran entre 1 y 2 ppm son dobles enlaces y CH₂, en 2.6 ppm se encuentran los grupos cetona, en 3.3 ppm se

encuentra el grupo hidroxilo, en 5.2 ppm se encuentran los alquenos y entre 7.8 y 8.3 el anillo aromático en para.

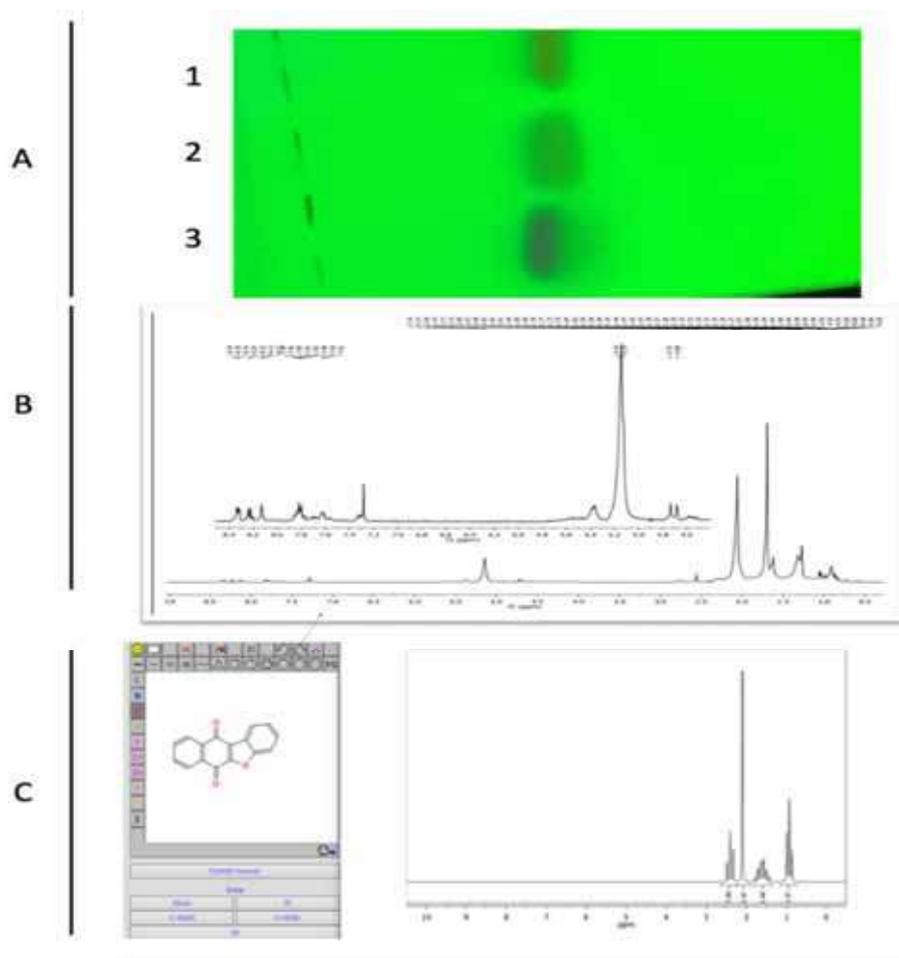


Figura 6: cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de la molécula TECTOQUINONA.

En la figura 6A se observa la cromatografía de capa fina que se realizó en la determinación de la presencia de la molécula, en la figura 6B se observa la resonancia magnética nuclear en equipo Espectrómetro Varían Mercury plus a 200 MHz. donde se observan las señales características de las moléculas y en la 6C se observa la resonancia

calculada por el programa Interactive Spectroscopy en el cual se formuló la molécula y este nos calculó las señales y picos que nos pueda arrojar el TECTOQUINONA y esto nos facilita su identificación.

El desplazamiento de los grupos alifáticos se encuentra entre 0.5 a 2.5 ppm son dobles enlaces a su vez CH y CH₂, en 5.26 ppm se encuentran los alquenos y entre 7.2 a 8.4 el anillo aromático.

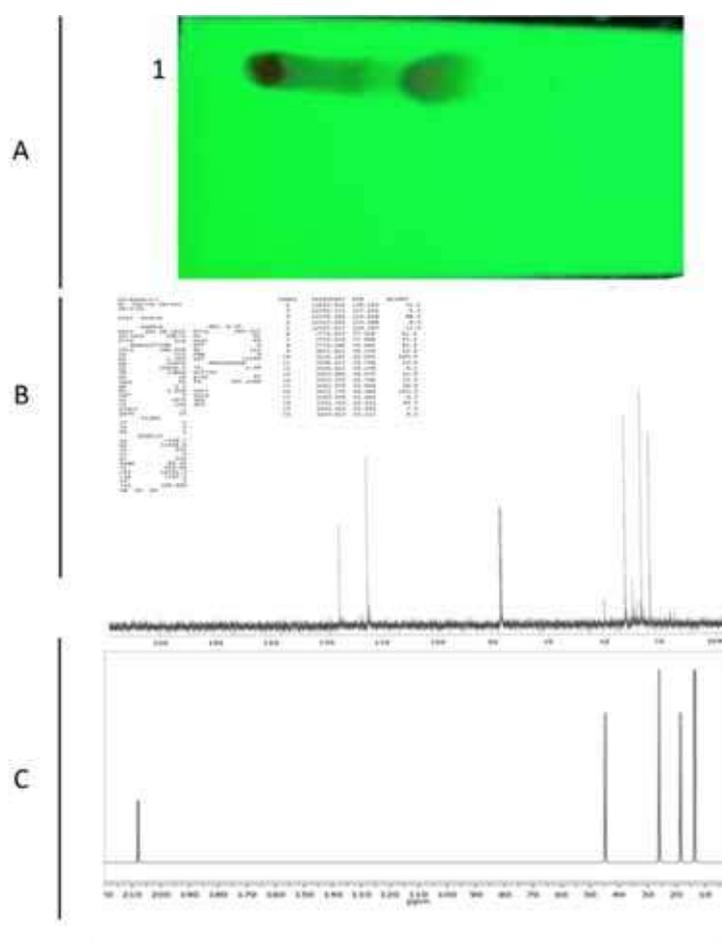


Figura 7: cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de la molécula de tecomaquinona I.

En la figura 7A se observa la cromatografía de capa fina que se realizó en la determinación de la presencia de la molécula, en la figura 7B se observa la resonancia magnética nuclear en equipo Espectrómetro Varían Mercury plus a 200 MHz. donde se observan las señales características de las moléculas y en la 7C se observa la resonancia calculada por el programa Interactive Spectroscopy en el cual se formuló la molécula y este nos calculó las señales y picos que nos pueda arrojar el TECOMAQUINONA I y esto nos facilita su identificación.

El desplazamiento de los grupos alifáticos es cuales se encuentran entre 15 a 36 ppm son dobles enlaces a su vez CH y CH₂, en 40 ppm se encuentran los alquenos y entre 76 el anillo aromático y entre 126 a 138 los grupos pertenecientes a los ácidos.

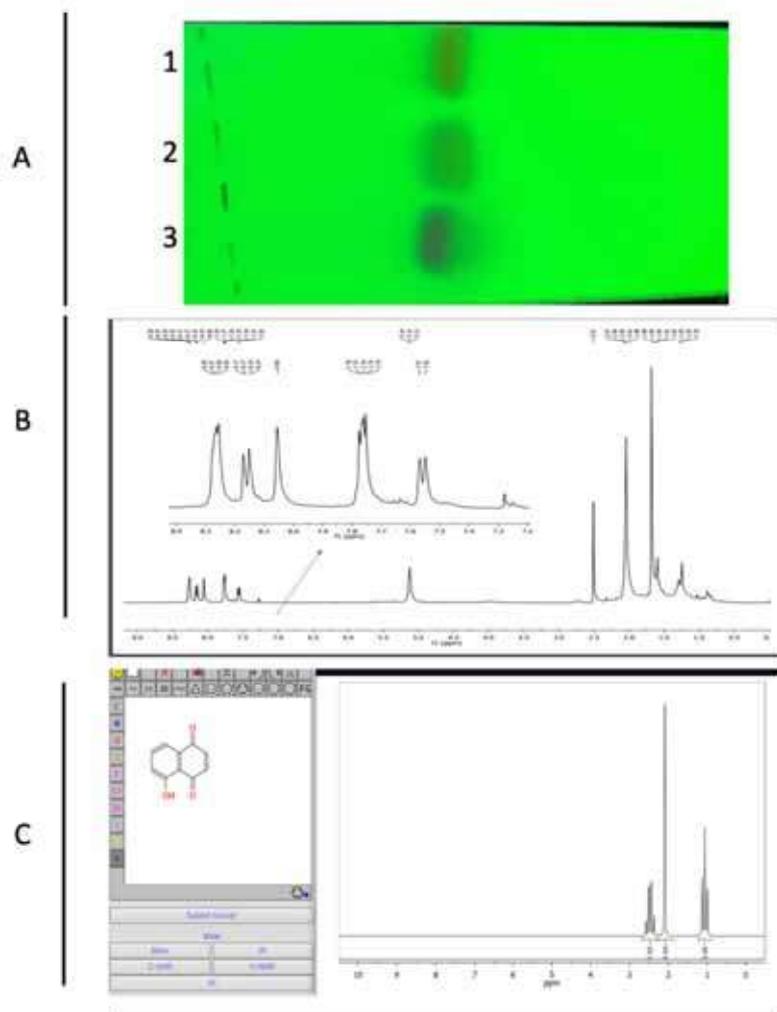


Figura 8: cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de DESOXILAPACHOL.

En la figura 8A se observa la cromatografía de capa fina que se realizó en la determinación de la presencia de la molécula, en la figura 8B se observa la resonancia magnética nuclear en equipo Espectrómetro Varían Mercury plus a 200 MHz. donde se observan las señales características de las moléculas y en la 8C se observa la resonancia calculada por el programa Interactive Spectroscopy en el cual se formuló la molécula y

este nos calculó las señales y picos que nos pueda arrojar el DESOXILAPACHOL y esto nos facilita su identificación.

Para el desplazamiento de los grupos alifáticos los enlaces se encuentran entre 0.85 y 2.7 ppm son dobles enlaces, CH, CH₂ y alquinos, de 5.23 ppm se encuentran los alquenos y al final de 7.28 a 8.28 el anillo aromático.

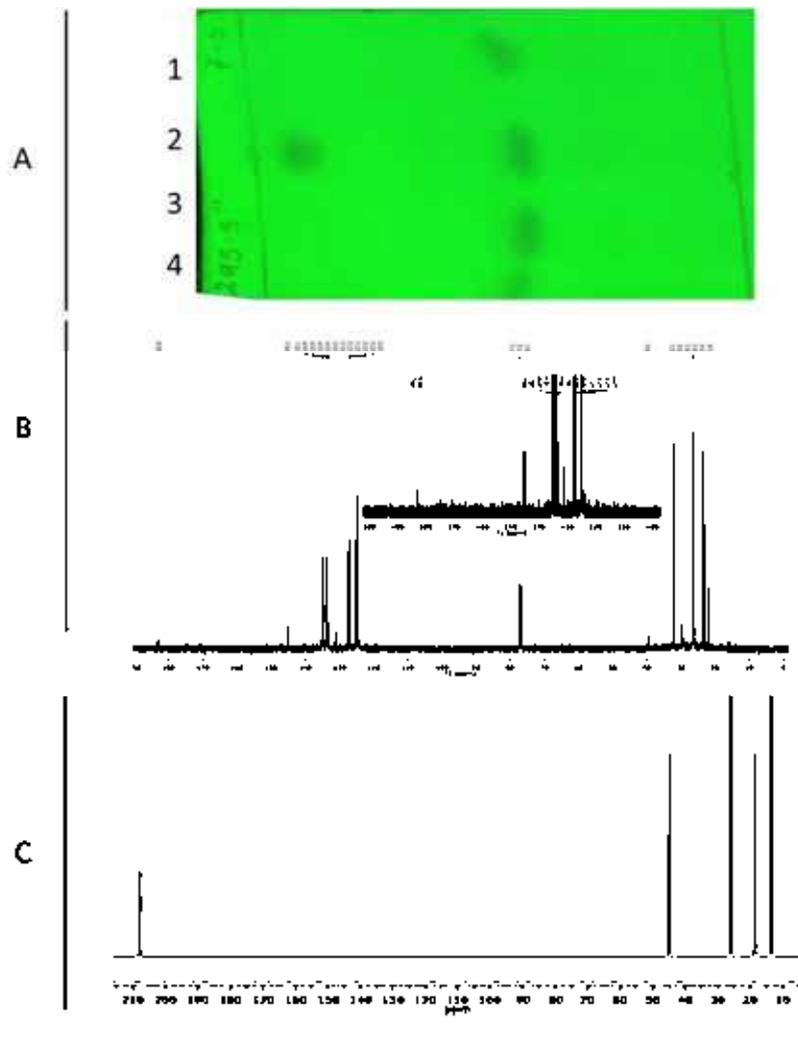


Figura 9: Cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de Deshidro- α -lapachona.

En la figura 9A se observa la cromatografía de capa fina que se realizó en la determinación de la presencia de la molécula, en la figura 9B se observa la resonancia magnética nuclear en equipo Espectrómetro Varían Mercury plus a 200 MHz. donde se observan las señales características de las moléculas y en la 9C se observa la resonancia calculada por el programa Interactive Spectroscopy en el cual se formuló la molécula y este nos calculó las señales y picos que nos pueda arrojar el Deshidro- α -lapachona. y esto nos facilita su identificación.

Para el desplazamiento de los grupos alifáticos los enlaces se encuentran entre 21.8 y 32.1 son dobles enlaces, CH, CH₂ y alquinos, de 76.7 a 77.3 ppm se encuentran los alquenos, al final de 72 a 84 el anillo aromático y entre 124 a 145.2 los ácidos.

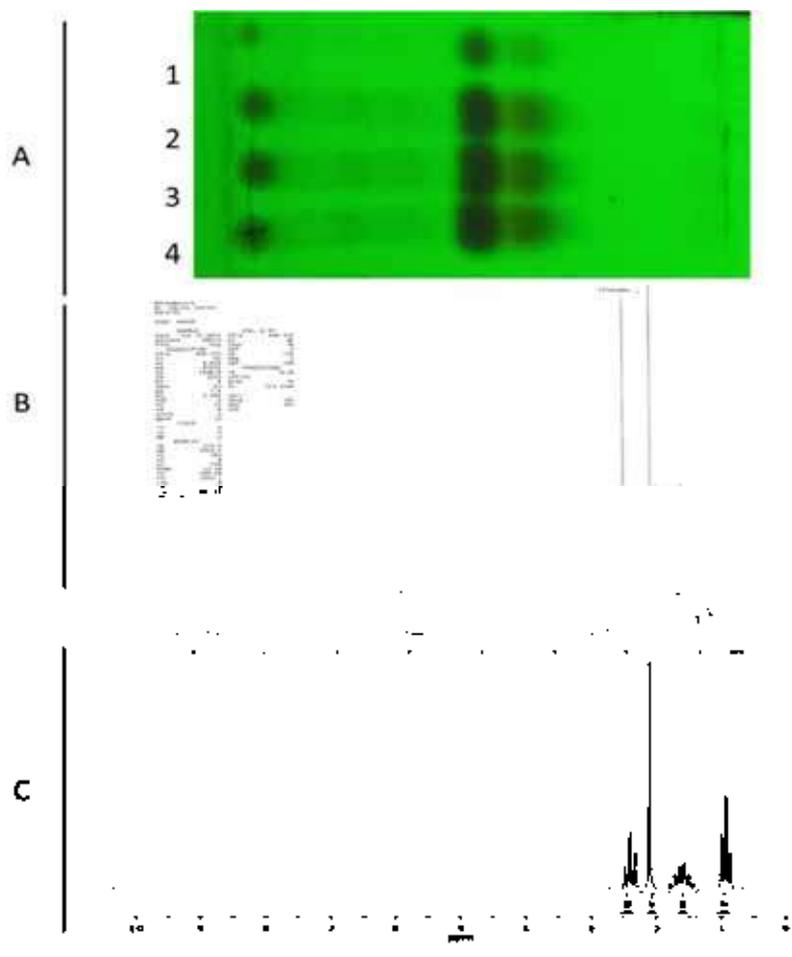


Figura 10: cromatografía de capa fina, resonancia magnética nuclear y resonancia calculada de TECTOL.

En la figura 10A se observa la cromatografía de capa fina que se realizó en la determinación de la presencia de la molécula, en la figura 10B se observa la resonancia magnética nuclear en equipo Espectrómetro Varían Mercury plus a 200 MHz. donde se observan las señales características de las moléculas y en la 10C se observa la resonancia calculada por el programa Interactive Spectroscopy en el cual se formuló la molécula y este nos calculó las señales y picos que nos pueda arrojar el TECTOL y esto nos facilita su identificación.

Para el desplazamiento de los grupos alifáticos los enlaces se encuentran entre 0.3 y 2.3 ppm son dobles enlaces, CH, CH₂ en 2.1 ppm se encuentran las cetonas, en 2.5 ppm el grupo hidroxilo en 4.8 a 5.5 ppm se encuentran los alquenos y al final de 7.25 a 8.35 el anillo aromático.

8.2 Obtención del material biológico

8.2.1 Termitas *Incisitermes marginipennis*.

Se colectaron dos colonias de termitas a partir de madera seca de *Pinus* sp. (almacenadas en un espacio seguro en condiciones de oscuridad y humedad ambiental), las muestras de madera infestada con las termitas se encontraban en la localidad de Morelia, Michoacán México (19.7006 Longitud: -101.186 Latitud: 19° 42' 2" Norte Longitud: 101° 11' 10" Oeste). La identificación de la especie del insecto se determinó de acuerdo con las claves taxonómicas para la morfología de la termita soldado y alas de los reproductores, (ver figura 10) (Krishna y Weesner, 1969; Nickle y Collins, 1988). Tras la identificación, una colonia de termitas de la especie *Incisitermes marginipennis* Latreille (Isoptera: Kalotermitidae) fue cultivada en una rodaja de madera (*Pinus* sp.) de 40 cm de diámetro sobre 35 cm de ancho. la muestra se colocó dentro de un contenedor plástico transparente con 20 cm de altura, 70 cm de largo por 43 de ancho, en condiciones de temperatura ambiente de 25 ° C y oscuridad constante durante un periodo de 30 días (Laboratorio de Calidad de la Brea, Aguarrás y Derivados de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo), consiguiendo de esta forma, su mantenimiento y aclimatación previa a la realización de los siguientes ensayos.



Figura 11: Colonia de *Incisitermes marginipennis*. Características taxonómicas de los individuos ninfas sobre una pieza de madera de pino seca.

Las colonias de la termita *Incisitermes marginipennis* posteriormente de ser recolectadas se aislaron en un medio seguro donde se propició y evaluó su ritmo de crecimiento. Encontrando que, en la mayoría de las evaluaciones, en la presencia de nuevos individuos fue en aumento (Tabla 2A-B), alcanzando un total de 945 individuos en 10 meses (Tabla 2C).

La colonia al encontrarse en un medio aislado de ataques exteriores o variaciones de temperatura ha presentado un crecimiento viable siendo afectada en algunos casos por cambios bruscos de temperatura y sus tiempos estacionales de crianza.

Tabla 2: crecimiento de la colonia de termita *Incisitermes marginipennis* en medio aislado.

A	B	C
Tiempo (d)	N Ind	Total
0-30	0	485
31-90	67	552
91-150	95	647
151-210	139	786
211-270	46	832
271-300	111	943

En la figura 11 se observan las termitas después de ser acondicionadas para alimentarse con del papel filtro para a si posteriormente ser utilizadas en las siguientes pruebas.



Figura 12: Termitas de *Incisitermes marginipennis* en etapa de ninfas alimentándose de papel filtro.

8.2.2 Efecto de la Cipermetrina en Termita.

Los resultados mostraron que el compuesto Cipermetrina generó un efecto repelente y tóxico sobre *I. marginipennis*, ya que, en la figura 12A se muestra la pérdida de peso generada sobre las muestras de papel filtro impregnado con el compuesto, y tras 24h de exposición no se generó diferencia estadística. Por su parte, en la figura 12B se aprecia que concentraciones de 0.24 y 0.48 mg/mL de cipermetrina (CL5 y CL6 respectivamente), mostraron porcentajes de mortalidad arriba 80.

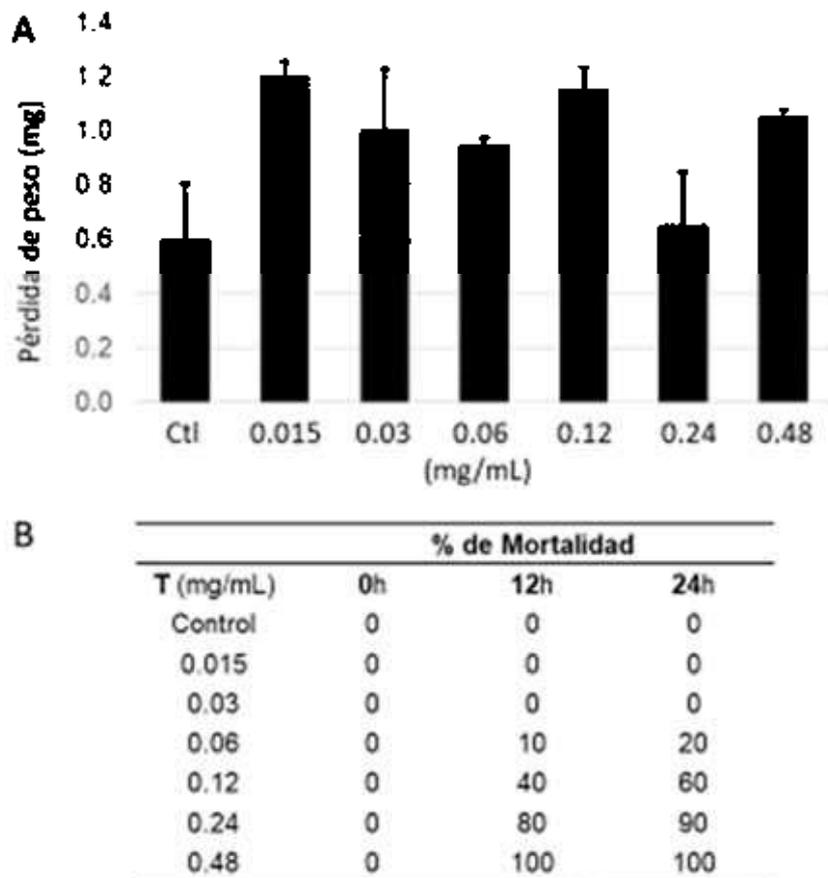


Figura 13: Se observa la tabla y gráfica del efecto de la cipermetrina sobre la termita *Incisitermes marginipennis*. En el panel 13A se muestra la pérdida de peso en papel filtro. Imagen 13B se presenta el comportamiento de la cipermetrina en dilución CL50 donde según la concentración en la que se encontraban las termitas presentaban mayoría de decesos.

8.3. Efecto de las naftoquinonas sobre *Incisitermes marginipennis*

Por su parte, al ensayar el efecto que presentan las moléculas extraídas con anterioridad, se encontró un efecto repelente-tóxico sobre las termitas. En la figura 13A se muestra la pérdida de peso sobre el papel filtro de los tratamientos, encontrando que en el grupo Agua, Cloroformo y Etanol (1-3) perdieron 75, 113 y 118 mg de peso por consecuencia a la exposición con las termitas. Sin embargo, en los tratamientos en donde se adicionaron las moléculas extraídas, la pérdida no superó los 13 mg (tratamientos del 4 al 9).

También, se encontró que el porcentaje de mortalidad de las moléculas sobre las termitas superaron el 80% en los tratamientos Deshidro- α -lapachona, Lapachol, Tectoquinona, Tecomaquinona I, Deoxylapachol (figura 13B).

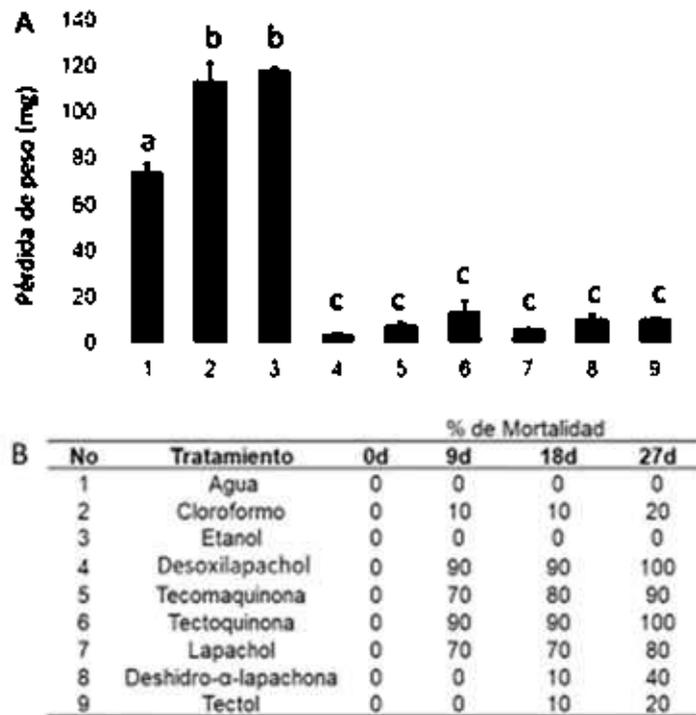


Figura 14: Gráfica y tabla del comportamiento que presentaron las moléculas extraídas del duramen de teca sobre la termita de madera seca *Incisitermes marginipennis* en la cual de forma ascendente para los controles ya que no dañaron a las termitas ni modificaron su comportamiento destacando de este paso al control con la molécula de 5-hidroxi-1-4-naftoquinona que presentó un comportamiento idéntico a las moléculas extraídas y en menor grado las termitas que sobrevivieron a la prueba destacando entre ellas las moléculas de lapachol y naftoquinona lo cual demuestra que presenta mejor repelencia que las otras moléculas.

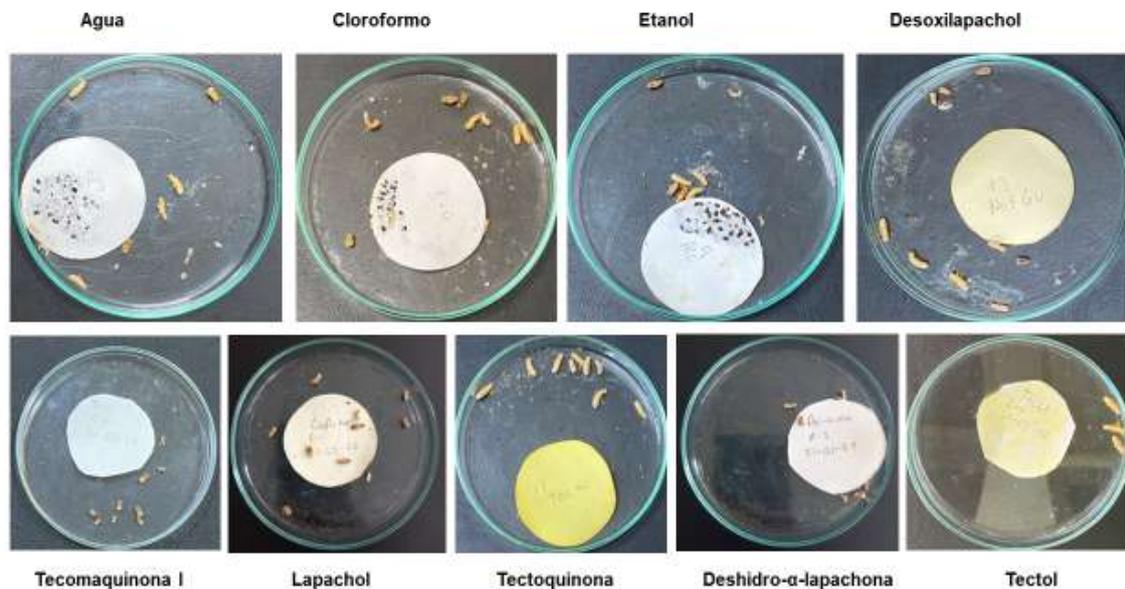


Figura 15: Comportamiento que presentaron las termitas en contacto con las moléculas extraídas del duramen de teca sobre la termita de madera seca *Incisitermes marginipennis*.

Se observa de forma ascendente para los controles ya que no dañaron a las termitas ni modificaron su comportamiento destacando de este paso al control con la molécula de 5-hidroxi-1-4-naftoquinona que presentó un comportamiento idéntico a las moléculas extraídas y en menor grado las termitas que sobrevivieron a la prueba destacando entre ellas las moléculas de lapachol y naftoquinona lo cual demuestra que presenta mejor repelencia que las otras moléculas.

8.3 Ensayo con disco doble

El efecto conseguido con las moléculas obtenidas, bajo el sistema de cajas Petri y doble disco de papel filtro, reveló que las termitas eligen alejarse del papel impregnado con 5-

hidroxi-1-4-naftoquinona, Naftoquinona, Tectoquinona, Lapachol, Deshidro- α -Lapachona, Tecomaquinona I y Tectol (Tabla 3. Org Fuera). No obstante, el porcentaje de mortalidad en las termitas expuestas también fue alto, alcanzando el cien por ciento con Tecomaquinona I.

En la tabla no. 3 se observa el comportamiento de las moléculas extraídas de teca a los 28 días de la prueba donde se observa que las moléculas que mejor repelencia y mortalidad tienen son las moléculas de tectoquinonas y naftoquinonas.

Tabla 3: Comportamiento de las termitas sobre las moléculas provenientes de Teca donde se observa la preferencia por zona que eligieron y la tasa de mortalidad generada por las moléculas.

Tratamiento	Org Fuera	Org Dentro	Mortalidad (%)
5-hidroxi-1-4-naftoquinona	7.7	2.3	40
Desoxilapachol	8.3	1.7	67
Tectoquinona	9.7	0.3	40
Lapachol	5.7	4.0	87
Deshidro- α -Lapachona	7.3	2.7	90
Tecomaquinona I	7.7	2.3	100
Tectol	7.3	2.7	77



Figura 16: Se observan las cajas Petri que contienen los discos Whatman No. 1 con el control y las moléculas extraídas de teca a los 28 días de la prueba donde se observa que las moléculas que mejor repelencia y mortalidad tienen son las moléculas de tectoquinonas y las naftoquinonas.

8.4 Ensayo con cubos de madera

Finalmente, el ensayo realizado sobre las piezas de madera tratadas con cada una de las moléculas, mostraron un efecto protector, es decir, entre estos tratamientos (Figura 13A: 4 al 9) no se encontró una diferencia estadística, sin embargo, las piezas de madera libre de moléculas extraídas mostraron fuertes valores de pérdida de peso (Figura 13A: 1 al 3). De igual manera, los valores de porcentaje de mortalidad indican que la 5-hidroxi-1-4-naftoquinona, Naftoquinona C, Lapachol y Tectoquinona, mostraron hasta un 100 por ciento de decesos de las termitas ensayadas (Figura 13B).

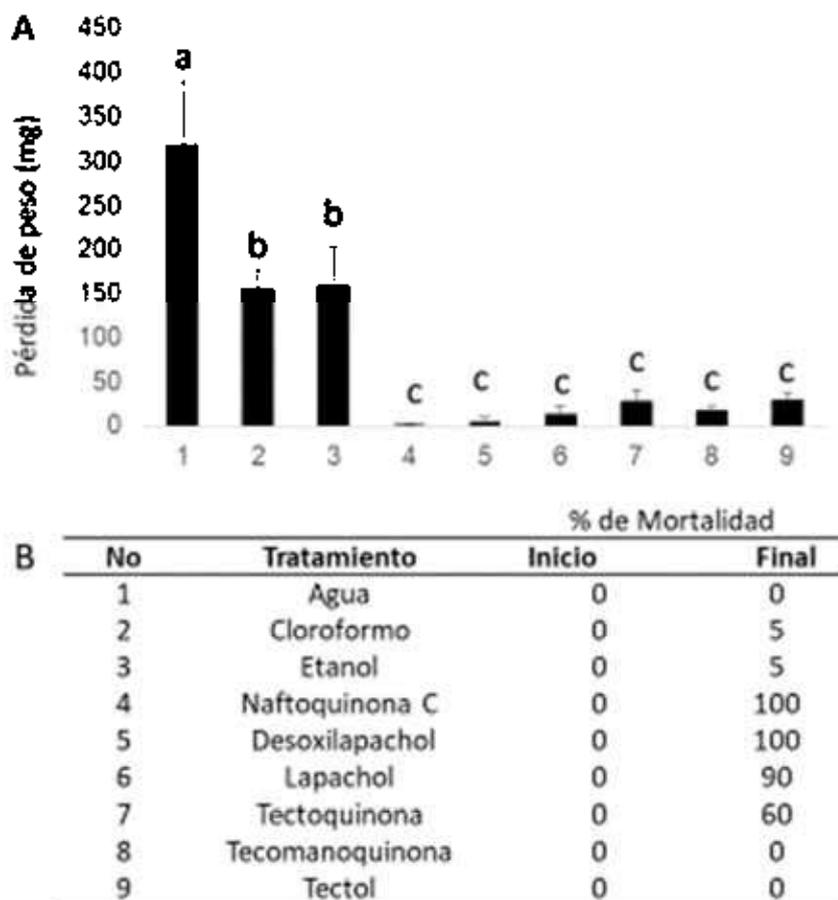


Figura 17: Gráfica y tabla de análisis del efecto protector y mortalidad presentada en madera de *Pinus ssp* de las moléculas extraídas sobre *Incisitermes marginipennis*.

En la grafica se observan los valores arrojados por las moléculas extraídas sobre la madera de *pinuss ssp* donde destacan entre todas las moléculas los efectos producidos por el Desoxilapachol y Lapachol que mostraron mejor capacidad generando mas mortalidad sobre la termita de madera seca.

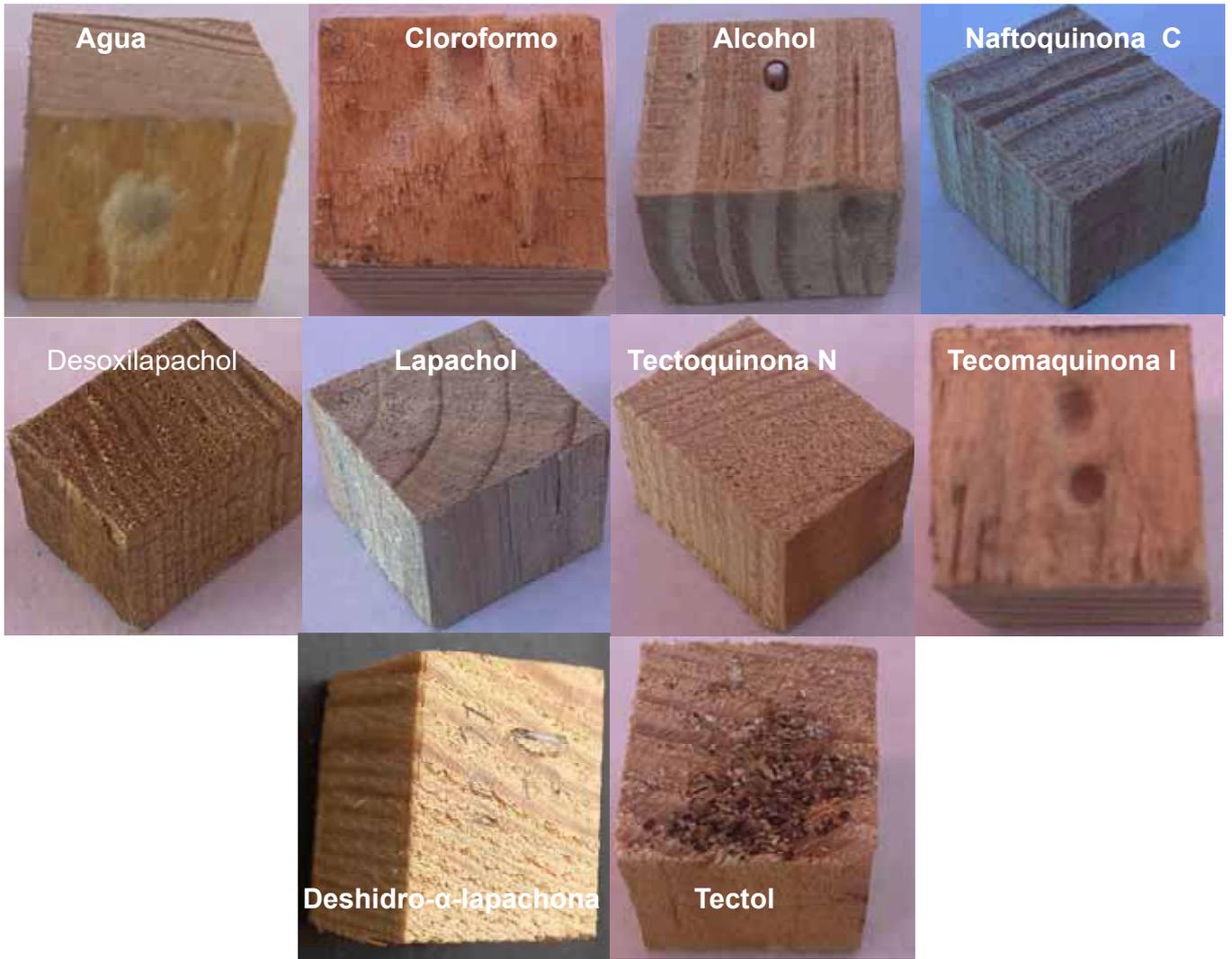


Figura 18: Efecto protector de las moléculas extraídas en madera de *Pinus spp* atacadas por *Incisitermes marginipennis*.

9. DISCUSIÓN

Los árboles de *Tectona grandis* son generalmente cultivados para uso comercial lo cual representa un volumen de madera talada de 0.5 millones de m³ y en los cultivados de 1.5 a 2 millones de m³. Proporcionando un elevado volumen de madera de alto valor comercial por sus propiedades fisicoquímicas, y por este motivo se generan a nivel mundial, una interesante cantidad de residuos maderables (Rodríguez *et al.*, 2014). Ya que, como la madera es muy valorada esto genera al año residuos por lo cual no es raro que un 60 por ciento del total del árbol talado se quede en el bosque y que las especies no comerciales se dejen para corta y quema, o simplemente se talen y degraden por el medio ambiente, para facilitar el acceso a la extracción de árboles.

El rendimiento obtenido a partir de las separaciones ácidas y neutras se consiguió de un total de 400g de harina de duramen, encontrando la presencia de moléculas como Lapachol, Tectoquinona, Deoxylapachol, Deshidro- α -lapachona, Tecomaquinona I y Tectol. Algunas de estas moléculas reportan importante valor biológico y/o comercial, ya que están fuertemente implicadas en la actividad biológica como antitumoral, antimicobacteriana, moluscicida, tripanocida, antimalárica y antiviral entre otras (Gupta *et al.*, 2004).

Evaluación de Cipermetrina en termitas *Incisitermes marginipennis*

La Cipermetrina es un insecticida de amplio uso e importancia en el mercado para el control de plaga por termitas, sin embargo, a pesar de su probada efectividad, es necesario un remplazo que prometa efectividad y un menor daño ambiental. Para la

mortalidad se realizó un ensayo de CL50 durante 24h sobre las termitas *Incisitermes marginipennis*, donde presentó una mortalidad dependiente de la concentración, entre 0.015 y 0.03 mg/mL los individuos expuestos no registraron decesos, y al aumentar la concentración a 0.06, 0.12, 0.24 y 0.48 mg/mL aumentó su % de mortalidad, siendo 0.48 mg/mL en donde se consiguió el 100 % de los decesos como se demostró en los análisis de sus efectos en el proyecto de (Triana *et al.*, 2017) en donde se realizó en embriones y renacuajos de cuatro especies de anuros donde obtuvo un porcentaje de 100% de efectividad donde se utilizaron 500 mg/L que para especímenes vivos es una dosis demasiado alta más sin embargo en este proyecto se utilizaron dosis más viables sobre la termita *Incisitermes marginipennis* para así obtener dosis más específicas para la preservación de la madera.

Efecto tóxico-repelente

Tomando en cuenta lo anterior, en ensayo de repelencia utilizando los compuestos quinónicos obtenidos, se encontró que, las terminas después de 27 días de exposición, exhibieron un interesante efecto. Primero; no todos los compuestos ensayados alcanzaron altos % de mortalidad (Da silva *et al.*, 2003). Segundo; el Tectol (del que menos rendimiento se consiguió) no mostro un % de mortalidad diferente al control.

Tercero; pese a que algunos compuestos mostraron bajos % de mortalidad, de alguna forma todos ejercieron un efecto protector sobre el disco de celulosa (no perdió peso).

Cuarto; el compuesto que más rendimiento mostró también resultó el de mayor efecto protector (Tectoquinona) (Bhat *et al.*, 2007).

También, es importante comentar que el fenómeno visto bajo el sistema de cajas de Petri con disco de celulosa, también se observó bajo el sistema en donde se emplearon las piezas de madera, en donde la Desoxilapachol mostró un elevado % de mortalidad.

El mecanismo de acción de las naftoquinonas (insecticidas, antifúngicas y antibacterianas) no ha sido completamente elucidado, sin embargo, se conoce que la atovaquona, análogo de la ubiquinona, actúa a nivel celular interfiriendo con la cadena de transporte de electrones del sistema mitocondrial, fenómeno observado en especies de *Plasmodium* inhibiendo la síntesis de ácidos nucleicos y de ATP (Vázquez *et al.*, 2012) Debido a que las naftoquinonas inducen estrés oxidativo en las células formando especies como O_2^- y/o H_2O_2 se favorece el proceso de apoptosis celular por un aumento de estas. Por su parte, la quinona se reduce para formar el di anión, esta reacción puede ser catalizada por varias enzimas como son: flavonas NADPH citocromo P450 reductasa, NADPH citocromo b5 reductasa, o NADPH ubiquinona oxido reductasa.

La cinética de esta reacción depende de factores como concentración del sustrato, afinidad enzima-sustrato, temperatura, pH y potencial de reducción de la quinona. Una vez que se forma la especie reducida o di anión esta puede reducir el oxígeno molecular al radical superóxido, que en presencia de la enzima superóxido dismutasa puede transformarse en H_2O_2 .

El radical superóxido, por medio de la reacción de Fenton genera $HO\cdot$ en el interior de la célula. Donde el H_2O_2 puede promover también la oxidación de algunas biomoléculas como lípidos generando radicales libres a partir de sus ácidos grasos y proteínas

modificando su estructura primaria y funcionabilidad, que, de esta forma se desencadena la muerte celular (Carvajal *et al.*, 2019). Dándonos un porcentaje Optimo de recubrimiento 68.59 cm cuadrados por cada ml de solución con las moléculas presentes.

10. CONCLUSIONES

Las moléculas obtenidas a partir del duramen de *Tectona grandis* mostraron un efecto repelente-protector sobre la termita *Incisitermes marginipennis*, aunque no en todos los casos, estas moléculas mostraban elevados porcentajes de mortalidad, si mostraron disminuir estadísticamente la pérdida de peso del material tratado.

En el apartado del análisis de repelencia las moléculas presentaron una capacidad de similitud, pero a su vez mostraron una capacidad diferente en la mortalidad.

En las pruebas de repelencia sobre los discos la tectoquinona mostro una capacidad similar a las demás destacando que su índice de mortalidad fue mayor, en la prueba de efecto sobre *I marginipennis* destacó en mortalidad seguida por el desoxilapachol, en el ensayo de disco doble la molécula presento el mayor índice de repelencia sobre la termita de madera seca y al ser ensayada en los cubos de madera fue de las que mejor tasa de mortalidad presento más sin embargo en este caso fue superada por el lapachol y Desoxilapachol.

11. LITERATURA CITADA

- Abdullah, F., Subramanian, P., Ibrahim, H., Abdul Malek, S. N., Lee, G. S., & Hong, S. L. (2015). Chemical composition, antifeedant, repellent, and toxicity activities of the rhizomes of galangal, *Alpinia galanga* against Asian subterranean termites, *Coptotermes gestroi* and *Coptotermes curvignathus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of insect science (Online)*, 15(1), 175. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieu175>
- Anyango, J. J., Bautze, D., Fiaboe, K. K., Lagat, Z. O., Muriuki, A. W., Stöckli, S., Onyambu, G. K., Musyoka, M. W., Karanja, E. N., y Adamtey, N. (2019). Termite-induced injuries to maize and baby corn under organic and conventional farming systems in the Central Highlands of Kenya. *Insects*, 10(10), 367.
- Ávalos García Adolfo y Pérez-Urria Carril Elena. (2009). Metabolismo secundario de plantas. 08/Enero/2022, de Departamento de Biología Vegetal I (Fisiología Vegetal). Facultad de Biología. Universidad Complutense. Madrid. Sitioweb: https://eprints.ucm.es/id/eprint/9603/1/Metabolismo_secundario_de_plantas.pdf
- Bhat, KM, Priya, P B (2004): Influence of provenance variation on wood properties of teak from the western Ghat region in india. *IAWA Journal*, 25, 237-282.
- Black, H. I. J., & Okwakol, M. J. N. (1997). Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of termites. *Applied soil ecology*, 6(1), 37-53.

- Bullock F.J., Tweedie J.F., McRitchie D.D., Tucker M.A. 1970. Antiprotozoal quinones. IV. 2-Amino-1,4-naphthoquinones imines as potential antimalarials. *Journal of Medicinal Chemistry*, 13:550-552.
- Canello, E. y Myles, T. G. (2000). Isóptera. Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento. En: Llorente J., González B. E. y Papavero N. 2: 295-315.
- Carvajal, Carvajal, Carlos. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 91-100. Recuperado el 04 de agosto de 2022, de http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152019000100091&lng=en&tlng=es.
- Canessa Amador, E. (1988). *Resistencia a la pudricion en seis especies maderables de plantacion*. Cartago: ITCR.
- Centeno, J. C. (1997). The management of teak plantations. *ITTO Tropical Forest Update*, 7(2), 10-12.
- Cibrián, T. D. J. T., Méndez, M., Campos, M. R., Yates, O. H., Flores, L. J. (1995). Insectos forestales de México/forest insects of México. Universidad Autónoma Chapingo y Comisión Forestal de América del Norte. Publicación No. 6 Chapingo, Texcoco, México. p 453.
- Chin, K. L., H'ng, P. S., Wong, W. Z., Lee, C. L., Khoo, P. S., Luqman, A. C., Ashaari, Z., Dubin, M., Fernandez Villamil, S.H., y Stoppani, A.O. (2001). Cytotoxicity of β -lapachone, a naphthoquinone with possible therapeutic use. *Medicina*, 61, 343–350.

- Da Silva, M.N. Ferreira, V.F.; De Souza (2003), M.C.B.V. Un panorama actual de química en la farmacología de naftoquinonas, con fase en la β -lapachona e derivados. *Quim. Nova.* 2003, 26, 407-416.
- EPA de los EE. UU. (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.) 2002a. Whitman anuncia la transición del uso por parte del consumidor de madera tratada que contiene arsénico. *Noticias medioambientales.* Washington, DC: Agencia 20460 de Comunicaciones, Educación, Protección Ambiental y Relaciones con los Medios de los Estados Unidos (1703A).
- Evans, T. A. (2021). Predicting ecological impacts of invasive termites. *Current opinion in insect science*, 46, 88-94.
- Fieser L. F., Nazer M. Z., Archer S., Berberian D.A., Slighter R.G. 1967. Naphthoquinone antimalarials. XXX. 2-Hydroxy-3-[(1-adamantyl) alkyl]-1,4-naphthoquinones. *Journal of Medicinal Chemistry*, 10:517-521.
- Fieser L. F., Schimer J.P., Archer S., Lorenz R.R., Pfaffenbach P.I. 1967 Naphthoquinone antimalarials. XXIX. 2-Hydroxy-3-(ω -cyclohexylalkyl)-1,4-naphthoquinones. *Journal of Medicinal Chemistry*, 10:513-517.
- Flórez, Jeimy Blanco, Trugilho, Paulo Fernando, Lima, José Tarcisio, Hein, Paulo Ricardo Gherardi, & Silva, José Reinaldo Moreira da. (2014). Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* L. f. plantada en Brasil. *Madera y bosques*, 20(1), 11-20. Recuperado en 11 de agosto de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000100002&lng=es&tlng=es.
- Galeano, E., Vasconcelos, T. S., Vidal, M., Mejia-Guerra, M. K., & Carrer, H.

- (2015). Large-scale transcriptional profiling of lignified tissues in *Tectona grandis*. *BMC plant biology*, 15(1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0599-x>.
- Gupta PK, Singh P (2004). A naphthoquinone derivative from *Tectona grandis* (Linn.). *Journal of Asian Natural Products Research* 6 (3): 237-240. - doi: 10.1080/10286020310001653192
 - Greaves, H. (1971). The bacterial factor in wood decay. *Wood Science and Technology*, 5(1), 6–16.
 - Greulich, K., & Pflugmacher, S. (2003). Differences in susceptibility of various life stages of amphibians to pesticide exposure. *Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands)*, 65(3), 329–336. [https://doi.org/10.1016/s0166-445x\(03\)00153-x](https://doi.org/10.1016/s0166-445x(03)00153-x)
 - Hassan B., Sohail A, Mankowski M, Grant K., Rebecca E. (2018). Effects of teak, *Tectona grandis* Linn, heartwood extractives against *Heterotermes indicola* (Isoptera: Rhinotermitidae). 1 Department of Entomology University of Agriculture Faisalabad Jail Road 38000, Punjab, Pakistan https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2018/fpl_2018_hassan003.pdf.
 - Ibáñez, O.C., Mantero, C., Rabinovich, M., Cecchetto, G., y Cerdeiras, P. (2012). Deterioro y preservación de madera. *Revista Digital Universitaria* 13(5):1-15 Disponible en línea: <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num5/art55/index.html>
 - Ito Ch., Katsuno Sh., Kondo Y., Tan H. T.-W., Furukawa H. 2000. Chemical constituents of *Avicennia alba*. Isolation and structural elucidation of new naphthoquinones and their analogues. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 48:339-343.

- Iwata D., Ishibashi M., Yamamoto Y. 2003. Cribarione B, a new naphthoquinone pigment from the myxomycete *Cribaria cancellata*. *Journal of Natural Products*, 66:1611-1612.
- JAC (Junta del Acuerdo de Cartagena, CO). 1988. Manual del Grupo Andino para la preservación de maderas. Lima, PE, Proyecto subregional de promoción industrial de la madera para construcción (PRID-Madera) de la Junta del Acuerdo de Cartagena. 404 p.
- Jouquet, P., Traoré, S., Choosai, C., Hartmann, C., Bignell, D. (2011). influencia de las termitas en el funcionamiento del ecosistema. Servicios ecosistémicos proporcionados por termitas. *EUR. J. Soil Biol.* 2011; 47: 215-222. doi: 10.1016 / j. ejsobi.2011.05.005.
- Lima, N.M.F., Correia, C.S., Leon, L.L., Machado, G. M.C., Madeíra, M.F., Santana, A.E.G., Goulart, M.O.F. 2004. Antileishmanial activity of lapachol analogues. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 99(7):757-761.
- López, L., Lluvia Itzel, Leyva, Elisa, & García de la Cruz, Ramón Fernando. (2011). Las naftoquinonas: más que pigmentos naturales. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 42(1), 6-17. Recuperado en 01 de agosto de 2022, de
- Mishra, P., Tripathi, A., Dikshit, A., & Pandey, A. (2020). Insecticides Derived from Natural Products: Diversity and Potential Applications. In *Natural Bioactive Products in Sustainable Agriculture* (pp. 83-99). Springer, Singapore.
- Misono Y., Ishikawa Y., Yamamoto Y., Hayashi M., Komiyama K., Ishibashi M. 2003. Dihydrolindbladiones. Three new naphthoquinone pigments from a myxomycete *Lindbladia tubulina*. *Journal of Natural Products*, 66:999-1001.

- Papadopoulos, A. N., Bikiaris, D. N., Mitropoulos, A. C., y Kyzas, G. Z. (2019). Nanomateriales y modificaciones químicas para mejorar las propiedades clave de la madera: una revisión. *Nanomateriales (Basilea, Suiza)*, 9 (4), 607. <https://doi.org/10.3390/nano9040607>
- Peraza, F. 2002. Protección preventiva de la madera. Madrid, Es, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. 437 p
- Peña-López M., Martínez M., Sarandeses L.A., Pérez Sestelo, J. 2010. A Versatile Synthesis of Fumaquinone. *Journal of Organic Chemistry, Nota*, April 21.
- Qiu, H., Liu, R. y Long, L. (2019). Análisis de la composición química de extractos por acetona y la aberración cromática de la teca (*Tectona Grandis LF*) de China. *Moléculas (Basilea, Suiza)*, 24 (10), 1989. <https://doi.org/10.3390/molecules24101989>.
- Ramírez-López, C. B., Beltrán-Sánchez, R., Hernández-Izquierdo, A., Salvador hernández, J. L., Salcedo-Pérez, E., Del Río, R. E., & Pacheco, M. M. M. (2021). Antifeedant activity of caesalpinia coriaria essential oil against *Incisitermes marginipennis* (Latreille). *Phyton*, 90(3), 907.
- Raya-González, D., Ron-Echeverría, O. A., Flores-García, A., Macías-Rodríguez, L. I., & Martínez-Pacheco, M. M. (2013). Dissuasive effect of an aqueous extract from *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq) Griseb on the drywood termite *Incisitermes marginipennis* (Isoptera: Kalotermitidae) (Latreille). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 524-530.
- Rodríguez, Anda, R., Zamora Natera, J. F., Silva Guzmán, J. A., Salcedo Pérez,

E., & Fuentes Talavera, F. J. (2014). Propiedades físico-mecánicas de madera de teca de plantaciones comerciales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(24), 12-25. Recuperado en 09 de enero de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000400003&lng=es&tlng=es.

- Salas C., Tapia R.A., Ciudad K., Armstrong, V., Orellana M., Kemmerling U., Ferreira J., Maya J.D., Morello A. 2008. *Trypanosoma cruzi*: activities of lapachol and alpha-and beta-lapachone derivatives against epimastigote and trypomastigote forms. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 16(2):668-674.
- Sampayo, S., Silva, M., García, J. (2011) Establecimiento de plantaciones comerciales de teca (*Tectona grandis* L. f.) en Tamaulipas. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/894.pdf>. Tamaulipas Mex. Inifap.
- Skrede, I., Solbakken, M. H., Hess, J., Fossdal, C. G., Hegnar, O., y Alfredsen, G. (2019). Madera Modificación por alcohol furfurílico dio lugar a un retraso en la respuesta de descomposición en *Rhodonía* (*Postia*) *placenta*. *Microbiología aplicada y ambiental*, 85 (14), e00338-19. <https://doi.org/10.1128/AEM.00338-19>.
- Singh, D. K., Sharma, V. K., Kumar, J., Mishra, A., Verma, S. K., Sieber, T. N., y Kharwar, R. N. (2017). Diversity of endophytic mycobiota of tropical tree *Tectona grandis* Linn.f.: Spatiotemporal and tissue type effects. *Scientific reports*, 7(1), 3745. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03933-0>.
- Scheffrahn, R. H. (2019). Expanded New World distributions of genera in the

- termite family Kalotermitidae. *Sociobiology*, 66(1), 136-153.
- Tamokou, J., Chouna, J. R., Fischer-Fodor, E., Chereches, G., Barbos, O., Damian, G., Benedec, D., Duma, M., Efouet, A. P., Wabo, H. K., Kuate, J. R., Mot, A., y SilaghiDumitrescu, R. (2013). Anticancer and antimicrobial activities of some antioxidant-rich cameronian medicinal plants. *PloS one*, 8(2), e55880. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055880>.
 - Termitas web (2021). Tipos de termitas. España: termitas web. Recuperado de <https://termitasweb.com/tipos-de-termitas/>
 - Triana Velázquez Teófila María, Heno Muñoz Liliana Marcela, Bernal Bautista Manuel Hernando. (2017). TOXICIDAD AGUDA DEL INSECTICIDA CIPERMETRINA (CYPERMON® 20 EC) EN CUATRO ESPECIES DE ANUROS COLOMBIANOS. 02/04/2022, de 1 Grupo de Herpetología, Eco-Fisiología y Etología, Departamento de Biología, Universidad del Tolima, Altos de Santa Helena. Ibagué, Colombia Sitio web: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v22n3/0120-548X-abc-22-03-00340.pdf>
 - Tuset, R, Duran, F. (2015). *Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización (aserrado, secado, conservación, descortezado, partículas)*. Montevideo. Montevideo (Uruguay) Editorial hemisferio sur Recuperado de <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/2436>.
 - Singh, A. P., Kim, Y. S., y Singh, T. (2016). Bacterial degradation of wood. *Secondary Xylem Biology: Origins, Functions, and Applications* 9:169-190.

- Sindhu, S. S., Rakshiya, Y. S., & Verma, M. K. (2011). Biological control of termites by antagonistic soil microorganisms. In Bioaugmentation, Biostimulation and Biocontrol (pp. 261-309). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Vásquez, Ana María, Tobón Alberto. (2012). Mecanismos de patogenia en la malaria por Plasmodium falciparum. 03/04/2022, de Biomédica Print version ISSN 0120-4157 On-line version ISSN 2590-7379 Sitio web: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-41572012000500012
- Yang, G., Liang, K., Zhou, Z., Wang, X., y Huang, G. (2020). UPLC-ESI-MS/MS-Based Widely Targeted Metabolomics Analysis of Wood Metabolites in Teak (*Tectona grandis*). *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(9), 2189. <https://doi.org/10.3390/molecules25092189>.