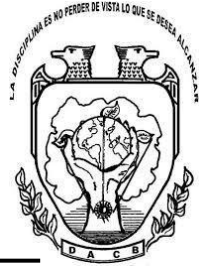




UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA Y
SUSTRATO EN EL MANEJO DE TERMITAS PARA POTENCIALES
ENSAYOS DE CONTROL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE SISTEMAS
TROPICALES**

P R E S E N T A

CÉSAR ORLANDO POZO SANTIAGO

DIRECTOR

DR. MANUEL PÉREZ DE LA CRUZ

CO-DIRECTOR

DR. JOSÉ RODOLFO VELÁZQUEZ MARTINEZ

VILLAHERMOSA, TABASCO. ABRIL DE 2021



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECCIÓN

Villahermosa, Tab., a 13 de Abril de 2021


ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. CÉSAR ORLANDO POZO SANTIAGO** egresado del Doctorado en **CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Doctorado denominado: **"IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA Y SUSTRATO EN EL MANEJO DE TERMITAS PARA POTENCIALES ENSAYOS DE CONTROL"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

ABRIL 21 DE 2021

C. CÉSAR ORLANDO POZO SANTIAGO
PAS. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y
MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES
P R E S E N T E

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: **"IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA Y SUSTRATO EN EL MANEJO DE TERMITAS PARA POTENCIALES ENSAYOS DE CONTROL"**, asesorado por el Dr. Manuel Pérez de la Cruz y Dr. José Rodolfo Velázquez Martínez, cuyo jurado está integrado por el Dr. Magdiel Torres de la Cruz, Dra. Aracely de la Cruz Pérez, Dr. Manuel Pérez de la Cruz, Dr. José Rodolfo Velázquez Martínez, Dra. Silvia Cappello García, Dr. Eder Ramos Hernández y Dr. José Ángel Gaspar Génico

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

CARTA AUTORIZACIÓN

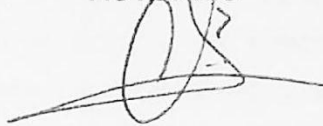
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de doctorado denominado: **"IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA, TEMPERATURA Y SUSTRATO EN EL MANEJO DE TERMITAS PARA POTENCIALES ENSAYOS DE CONTROL"**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 21 días del mes de abril de dos mil veintiuno.

AUTORIZO



CÉSAR ORLANDO POZO SANTIAGO

Agradecimientos

A Dios por darme esta vida en la que hoy puedo obtener este grado académico y en la que he podido conocer personas valiosas en mi formación, pero sobre todo por darme una familia que siempre me ha apoyado en mis decisiones, por darme la esposa que me dio y por mis dos hermosos hijos. Gracias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme el apoyo económico para la realización de mis estudios de Posgrado.

A la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por la formación ética y profesional en todos los ámbitos de mi persona.

A los Doctores Manuel Pérez de la Cruz y José Rodolfo Velázquez Martínez por la confianza depositada en mí para la realización y culminación de este proyecto.

A los Doctores que formaron parte de mi comité tutorial, y sinodal, Dr. Magdiel Torres de la Cruz, Aracely de la Cruz Pérez, Silvia Cappello García, José Ángel Gaspar Génico y Eder Ramos Hernández, por ser parte de este proyecto, asesorarme y transmitirme parte de sus conocimientos.

A la familia en donde tuve la gran oportunidad de crecer y mi familia política, porque de cada uno de ellos obtuve un valor, a todos, gracias por ser mi familia, les quiero.

A José del Carmen Gerónimo y Liliana Ríos por brindarme su amistad, apoyarme siempre con sus consejos e ideas para la realización de este trabajo.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de colecciones y de generación, quienes pusieron su granito de arena para alcanzar esta meta, gracias por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

Dedicatoria

A mi madre, la Sra. Nelly Tejero Tejero y a mi tía Guadalupe del Socorro Santiago Tejero, por su interminable amor, por su apoyo y confianza y por siempre creer en mí, les quiero mucho y toda la vida les estaré agradecido.

A mi esposa Delfina Arias Gordillo, y a mis tres hermosos hijos Julio César, Mefi Orlando y Axel Dariel por ser cómplices de este logro, por su amor, por apoyarme siempre para el cumplimiento de mis metas y por siempre estar a mi lado dando una palabra de aliento cuando las cosas se ponen mal. Los amo.

Dedicatoria especial a la memoria de mi suegra, Adriana Gordillo, mi cuñado, Gandi Arias y mi sobrino, Gandi Arias Méndez. Desde el cielo se que ven con gusto este logro, que también es de ustedes y que les dedico con todo mi cariño. Gracias por creer siempre en mí, por brindarme su apoyo incondicional, por hacerme parte de su hermosa familia. Que en paz descansen. Los llevamos siempre en nuestros corazones.

ÍNDICE

Resumen

Abstract

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN 1

ANTECEDENTES 15

MARCO TEÓRICO 3

Termitas 3

Ciclo de vida 4

Diferentes castas de termitas 5

Tipos de termitas 8

Hábitos alimenticios e importancia económica 9

Factores que afectan la biología de las termitas 11

Estrategias de control 12

OBJETIVOS 19

Objetivo general 19

Objetivo específicos 19

LITERATURA CITADA 20

CAPITULO 2: Survival of *Coptotermes testaceus* (Isoptera: Rhinotermitidae) to Environmental Conditions (Relative Humidity and Temperature) and Preference to Different Substrates 34

Abstract 35

Introduction 35

Materials and methods 36

Results 38

Discussion	40
Acknowledgments	41
Contribution of the authors	41
References	41
CAPITULO 3: El papel de la humedad relativa, temperatura y sustratos en la supervivencia de <i>Nasutitermes corniger</i>	44
RESUMEN	45
ABSTRACT	45
INTRODUCCIÓN	46
MATERIALES Y MÉTODOS	46
DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	48
RESULTADOS	48
DISCUSIÓN	49
CONCLUSIONES	51
AGRADECIMIENTOS	51
LITERATURA CITADA	51
CONCLUSIÓN GENERAL	54

Resumen

Las especies *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) y *Coptotermes testaceus* (L.) son termitas que causan daños considerables en áreas urbanas y agrícolas del neotrópico. A pesar de su importancia económica, no existen estudios sobre sus aspectos biológicos básicos para el manejo en laboratorio, que puedan servir de base para desarrollar estrategias de control. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar en laboratorio la supervivencia de estas dos especies a diferentes condiciones de humedad relativa, temperatura, humedad del sustrato y su preferencia a distintos tipos de maderas. Se probaron humedades relativas entre el 9 y 100%, las temperaturas de 20, 25 y 30 °C, seis sustratos: pino, cedro, tinto, eucalipto, macuilís, fibra de coco; y cuatro humedades de sustrato de 0 hasta 60%. Los resultados de supervivencia obtenidos para las dos especies de termitas indicaron un efecto significativo en todas las variables medidas. Para *N. corniger* y *C. testaceus*, la mayor supervivencia se obtuvo con la humedad relativa del 100% y temperatura de 20° C, con 97.98 y 88.4% respectivamente. El sustrato de mayor preferencia para ambas especies fue eucalipto, con 68.75% para *C. testaceus* y 49.33% para *N. corniger*. La humedad del sustrato (eucalipto) de 60% con condiciones de humedad relativa y temperatura controladas (100% y 20 °C) fue la que obtuvo los mayores valores de supervivencia con 50% a los 15 días de observación para *N. corniger* y 83% a los 21 días de observación para *C. testaceus*. Estos resultados preliminares, permiten tener una idea más clara sobre los aspectos biológicos básicos para el manejo en laboratorio de estas especies de termitas de importancia económica por tiempos prolongados, sirviendo esto de base para futuros bioensayos destinados a desarrollar estrategias de control.

Abstract

The species *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) and *Coptotermes testaceus* (L.) are termites that cause considerable damage in urban and agricultural areas of the Neotropics. Despite its economic importance, there are no studies on its basic biological aspects for laboratory management, which can serve as a basis for developing control strategies. Therefore, the objective of the study was to evaluate in the laboratory the survival of these two species at different conditions of relative humidity, temperature, substrate humidity and their preference for different types of wood. Relative humidity between 9 and 100%, temperatures of 20, 25 and 30 °C, six substrates were tested: pine, cedar, red, eucalyptus, macuilís, coconut fiber; and four substrate humidities from 0 to 60%. The survival results obtained for the two termite species indicated a significant effect on all the variables measured. For *N. corniger* and *C. testaceus*, the highest survival was obtained with a relative humidity of 100% and a temperature of 20 °C, with 97.98 and 88.4% respectively. The most preferred substrate for both species was eucalyptus, with 68.75% for *C. testaceus* and 49.33% for *N. corniger*. The humidity of the substrate (eucalyptus) of 60% with controlled relative humidity and temperature conditions (100% and 20 °C) was the one that obtained the highest survival values with 50% at 15 days of observation for *N. corniger* and 83 % at 21 days of observation for *C. testaceus*. These preliminary results allow a clearer idea of the basic biological aspects for laboratory management of these economically important termite species for long periods of time, serving as the basis for future bioassays aimed at developing control strategies.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Las termitas pertenecen al orden Blattodea (Insecta), que comprende cerca de 2 750 especies, distribuidas principalmente en las regiones tropicales y subtropicales (Cancello y Myles, 2000). Son organismos sociales que se organizan en colonias e incluyen diferentes miembros o castas (Cabrera-Dávila y López-Bello, 2013). En los ambientes naturales tienen gran relevancia como organismos descomponedores, al participar en el reciclaje de nutrientes y por su acción en la transformación de las propiedades físicas y químicas del suelo (Lavelle *et al.*, 1994). Sin embargo, a pesar de su importancia dentro de los ecosistemas, existen numerosas especies estrictamente xilófagas, cuya fuente principal de alimento es la celulosa. Estas especies pueden consumir la madera virgen o procesada, provocando severos daños a las edificaciones, plantaciones forestales y cultivos agrícolas, con sustanciales pérdidas económicas (Costa Leonardo, 2002; Milano, 2002).

En México se tienen registros de 63 especies de termitas, pero se estima que este número puede superar las 110 especies (Cancello y Myles, 2000; Inward *et al.*, 2007). Dentro de las familias de mayor importancia económica se encuentran Termitidae y Rhinotermitidae.

Dentro de la familia Rhinotermitidae, *Coptotermes* Wasmann, es catalogada como uno de los géneros que concentra la mayor cantidad de especies (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2015). En el estado de Tabasco, se ha registrado la presencia de *Coptotermes crassus* Snyder, 1922 (Méndez y Equihua, 2001), especie considerada sinónimo de *C. testaceus* (Linnaeus, 1758) (Scheffrahn *et al.*, 2015). Esta especie ha sido reportada afectando plantaciones forestales (Apolinário y Martius, 2004; Amaral-Castro *et al.*, 2004; Krishna *et al.*, 2013); cultivos agrícolas (Krishna *et al.*, 2013), y construcciones de maderas en áreas urbanas (Bandeira *et al.*, 1989). En México, *C. testaceus* ha sido reportada impactando al sector agrícola y forestal, con 46 hospedantes vegetales

identificados, ocasionando daño en raíz y tallo de cultivos de importancia económica, social y cultural (López-Vera *et al.*, 2018; Capetillo-Concepción *et al.*, 2019).

Por otro lado, la familia Termitidae abarca aproximadamente el 70% de todas las especies del orden Blattodea a nivel mundial, con 1 900 de las 2 800 especies descritas, siendo la familia más diversa, abundante y especializada (Nickle y Collins, 1992; Vargas-Niño *et al.*, 2005). En el Neotrópico, *Nasutitermes* es el género más diverso de esta familia con 75 especies descritas (Araujo, 1977), dentro de las cuales, *N. corniger* (Motschulsky) (Blattodea: Termitidae) es la de mayor importancia económica en zonas urbanas (Santos *et al.*, 2020). En el sector agrícola se ha reportado atacando cultivos como caña de azúcar, arroz, árboles frutales y eucalipto; dañando hojas, tallo o tejido leñoso (Boulogne *et al.*, 2017). En México se han reportado seis especies del género *Nasutitermes*, de las cuales, *N. corniger* y *N. nigriceps* están presentes en el estado de Tabasco (Canello y Myles, 2000).

Debido a la importancia económica de *C. testaceus* y *N. corniger*, es necesario la búsqueda de estrategias para su control, para lo cual, se requieren de colonias vivas en laboratorio para la realización de bioensayos enfocados a este propósito (Pozo-Santiago *et al.*, 2020). Sin embargo, a la fecha no se tienen estudios sobre los requerimientos ambientales para establecer colonias vivas en laboratorio por periodos prolongados de tiempo. Establecer colonias vivas de termitas en laboratorio es una tarea complicada, debido a que factores como temperatura (Fei y Henderson, 2002; Nakayama *et al.*, 2004, Wiltz, 2012), humedad (Wong y Lee, 2010; Gautam y Henderson 2011; Wiltz, 2012) y la fuente de alimento (Smythe y Carter, 1969; Su y Tamashiro, 1986), pueden afectar la supervivencia de los individuos durante su manejo. Al respecto, Zukowski y Su (2017), señalaron que la desecación es otro problema común que enfrentan las termitas, por lo que deben ubicar y utilizar los recursos hídricos disponibles en la humedad relativa, humedad del sustrato y alimento para prevenir o tolerar la

pérdida de agua. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue evaluar en condiciones de laboratorio la supervivencia de *C. testaceus* y *N. corniger* en varios niveles de humedad relativa, temperatura, humedad del sustrato y preferencia a distintas maderas.

MARCO TEÓRICO

Termitas

Las termitas son insectos eusociales polimórficos (Engel *et al.*, 2009), que pueden clasificarse inicialmente en dos grupos, termitas superiores, a la cual pertenecen los miembros de la familia Termitidae, y termitas inferiores, en la que están incluidas individuos de las familias Hodotermitidae, Termopsidae, Kalotermitidae, Rhinotermitidae y Serritermitidae (Kambhampati y Eggleton, 2000). Una característica de las termitas es que cuentan con colonias altamente organizadas y generaciones superpuestas, son insectos eurotropicales, distribuidos por las regiones templadas, tropicales y subtropicales del mundo, con la mayor diversidad encontrada en los bosques tropicales (Eggleton, 2000). Las termitas son descomponedores, se alimentan de una amplia gama de seres vivos, muertos o material vegetal en descomposición y suelo rico en materia orgánica, con esto ayudan al reciclaje de material de desecho (Freyman *et al.*, 2008). También alteran la composición del suelo y su estructura (Lee y Wood, 1971), mejoran el drenaje y proporcionan aireación al suelo (Donovan *et al.*, 2001) debido a actividades de excavación. Por todo esto, a las termitas también se les ha llamado “ingenieros del ecosistema”, mejorando la fertilidad del suelo cuando los montículos, que son ricos en minerales, se trituran y se incorporan al suelo. Durante largos períodos de tiempo, las termitas pueden modificar las propiedades físicas del suelo como la textura, la infiltración de agua, tasas y contenido de nutrientes, en varias escalas espaciales (Dangerfield *et al.*, 1998).

Debido a su tipo de alimentación, las termitas también afectan negativamente en la agricultura, la silvicultura y la vivienda (Tsai, 2007). Son plagas graves de los árboles frutales, arroz, verduras, caña de azúcar (Yi, 1954), plantaciones forestales (Yang *et al.*, 2002) y construcciones hechas a base de madera (Tsai y Chen, 2000; Tsai, 2007).

Ciclo de vida

En una misma colonia de termita están presentes adultos reproductivos primarios y complementarios. Los reproductores primarios son el rey y la reina, los cuales son los fundadores del nido y colonia. Son adultos pigmentados con alas iniciales completamente desarrolladas. Su papel es la reproducción y el inicio de la colonia. El rey o macho reproductivo es quien realiza el vuelo nupcial, copula con la reina y la fecunda por inseminación. La reina o hembra reproductiva almacena el esperma en las espermotecas después de la cópula y los usa para engendrar los huevos no fertilizados. El papel principal para una reina es producir huevos ya que pone más de 3000 huevos por día, agrandando gradualmente su cuerpo, especialmente el abdomen, para acomodar los huevos. El período de incubación puede prolongarse a 50-60 días. Después de la incubación, las ninfas eclosionan en forma de recién nacidos. Se someten a una serie de mudas antes de convertirse en adultos. Las termitas son hemimetábolos, presentan una metamorfosis incompleta (Thompson, 2000).

A diferencia de la mayoría de los otros insectos, se sabe muy poco sobre la muda de las termitas, particularmente en el grupo subterráneo. Las razones de esta falta de información incluyen ausencia de sincronización en el momento de la muda, la naturaleza críptica de las termitas y su largo ciclo de vida. Una colonia de termitas tarda entre cuatro y cinco años para alcanzar su tamaño máximo. Morfológicamente, las obreras y soldados miden 6-8 mm de largo. Los soldados tienen cabezas agrandadas con mandíbulas negras. Tanto obreras como soldados carecen de alas y suelen carecer de ojos (Myles, 2005).

El ciclo de vida de las termitas comienza con la dispersión de reproductores alados para colonizar nuevos sitios. La pareja de apareamiento muda sus alas y establece un nuevo nido. La reina oviposita, los huevos eclosionan y las ninfas se desarrollan en diferentes formas. Las castas se determinan durante el desarrollo post-embrionario, y cada larva (termita de primer o segundo estadio) puede convertirse en obrera, soldado o reproductora (Laine y Wright, 2003). La casta reproductiva puede tener múltiples formas, por ejemplo, un reproductor neoténico, es un reproductor que no se deriva de un alado y conserva aún características de un juvenil. Los reproductores secundarios o ninfoides son neoténicos derivados de ninfas, tienen almohadillas en las alas y pigmentación corporal, es generalmente de un tono amarillo. Los reproductores terciarios o ergatoides son los derivados de las falsas obreras (*pseudergate*). Estos son generalmente más pequeños que los ninfoides reproductivos y son ápteros con pigmentación muy ligera (Thorne, 1996).

Diferentes castas de termitas

Al ser insectos eusociales, las termitas tienen un sistema de castas. La casta de cada individuo se determina durante su desarrollo post-embrionario (Laine y Wright, 2003), que depende en gran medida de las feromonas presentes en la colonia.

Las termitas tienen cuatro castas resultantes de la expresión de alternativas post-embrionarias, las cuales se mencionan a continuación:

Obreras

Las obreras de termitas inferiores generalmente no tienen pigmentación, son de color blanco o negro; carecen de ojos y no muestran signos de desarrollo de alas. Son de cuerpo blando pero poseen dureza en sus piezas bucales, las cuales están especialmente adaptadas para masticar madera. Son funcionalmente machos y hembras estériles, esta casta es la responsable de todo el trabajo requerido en el nido. Las obreras jóvenes realizan trabajos en el nido como

alimentar, asear y cuidar juveniles, mientras que las obreras mayores son reclutadas para trabajos de búsqueda y construcción de nidos.

En las termitas, el polietismo por edades afecta la longevidad de las obreras, la cual tarda casi un año en madurar con una longevidad media de unos 3 a 5 años (Myles, 2005). El polietismo de tamaño es también evidente entre las obreras, ya que aquellos con diferentes tamaños corporales tienen un papel diferente en la construcción del nido (Jones, 1980). El tamaño corporal de las obreras tiene un papel en las galerías de túneles, las obreras grandes hacen galerías de túneles anchos con menos segmentaciones, mientras que las obreras pequeñas hacen túneles estrechos con más segmentaciones (Campora y Grace, 2004). Otra característica importante del tamaño de las obreras fue registrada por McMahan *et al.* (1984), quienes atestiguaron que el 96 % de las obreras pequeñas asisten a la cámara de la reina; por el contrario, el 99 % de las obreras grandes participan en la búsqueda de alimentos.

Falsas obreras (Pseudergate)

Las falsas obreras hacen el trabajo de recolección de alimentos, construcción o cuidado de cría, pero aún poseen la capacidad de convertirse en reproductores (Roisin y Korb, 2010). Los isópteros son eusociales debido a la posesión de una casta final de soldados estériles. Estos soldados estériles se desarrollan a partir de un instar con individuos alados/ápteros a través de un estadio pre-soldado intermedio no esclerotizado. Se ha reportado que la alta concentración de hormonas en juveniles es la razón de tal desarrollo (Luscher, 1969; Hrdy *et al.*, 2006). Grasse y Noirot (1947) acuñaron el término “*Pseudergate*” o falsas obreras para designar a las termitas que pasan por mudas regresivas en *Kaloterms flavicollis* (Fab.). Generalmente, la línea áptera se convierte en obreras y soldados. Por lo general, los patrones de castas de las termitas se pueden dividir en dos grupos, uno caracterizado por el desarrollo de *pseudergate* y el otro por una

bifurcación de desarrollo temprano, que separa la línea ninfal alada de la línea áptera.

Soldados

Son los encargados de la defensa y resguardo de la colonia, se caracterizan por poseer distintas cápsulas en la cabeza, tienen fuertes mandíbulas como defensa contra depredadores. No son capaces de alimentarse por si mismos y dependen de sus compañeros para realizar esta actividad. Los soldados llegan a una edad maduran en el transcurso de un año y pueden vivir hasta cinco (Myles, 2005). La casta de los soldados es monofilética y se cree que evolucionó antes que la casta obrera (Noirot y Pasteels, 1987).

Al igual que en otras castas, una proporción específica de soldados también depende de factores ambientales (Haverty y Howard, 1981; Haverty y Howard, 2005a; Haverty y Howard, 2005b). Esta proporción puede tener dos niveles de regulación interna: 1) la regulación endocrinal individual, donde el cambio en el título hormonal juvenil activa el proceso de diferenciación; 2) la regulación social, donde la proporción actual de soldados se convierte en modelo para la producción de nuevos soldados (Mao *et al.*, 2005; Park y Raina, 2004, 2005; Mao y Henderson, 2010). Se sugiere que la casta de soldados es una estrategia de supervivencia frente a una intensa competencia interespecífica (Thorne *et al.*, 2003).

Reproductores

Los reproductores primarios son alados, tienen ojos desarrollados y pigmentados, como es el caso de las reinas. La reina puede tener una vida larga, de hasta 25 años. Así mismo, se pueden encontrar reproductores neoténicos en colonias de termitas donde el rey o la reina han muerto; estos no se derivan de los alados y nunca tienen alas ni ojos desarrollados. Su pigmentación puede variar de leve a intensa. Los reproductores ninfoides se desarrollan a partir de la etapa ninfal y tienen almohadillas en las alas, pero no muestran muchas de las

características maduras de un reproductor primario. Los reproductores ergatoides son neoténicos derivados de las obreras, los cuales son más pequeños que los reproductores ninfoides y carecen de los brotes de las alas (Thorne, 1996; Myles, 2005). Los reproductores alados realizan vuelos nupciales masivos en abril y mayo, que también son un indicio de infestaciones de termitas, para posteriormente crear una cámara que forma el nido, en la cual ovopositan los huevos (Philip, 2004; Sun y Scheffrahn, 2000). La casta reproductiva tiene una gran variedad de formas, con un exoesqueleto esclerotizado (Thorne, 1996).

Tipos de termitas

Las termitas pueden ser clasificadas según su distribución, hábitos de alimentación y requisitos de humedad. En el caso de las termitas inferiores se clasifican en los requerimientos alimenticios como son a) madera seca, b) madera húmeda y c) subterráneas.

Termitas de madera seca

Las termitas de madera seca se alimentan esencialmente de troncos con poco contenido de humedad, ya que están adaptadas a las condiciones secas, presentan una cutícula impermeable que les ayuda a retener la humedad corporal. La identificación de clase de termitas puede realizarse a partir de sus excretas, de las cuales obtienen una importante fuente de agua. Presentan una serie de asociaciones simbióticas con numerosos protozoos y bacterias intestinales que les ayudan a digerir la celulosa (Li *et al.*, 2013)

Termitas de madera húmeda

Se alimentan de la madera húmeda en descomposición. Comúnmente se encuentran en la madera en contacto con el suelo como troncos, tocones y árboles muertos; sin embargo, no es necesario que dichos sustratos se encuentren directamente en el suelo (Bignell y Eggleton, 2000; Hinze *et al.*, 2002).

Pueden causar un daño significativo; no obstante, son consideradas como el grupo de termitas con menor impacto económico (Su, 2002).

Termitas subterráneas

Las termitas subterráneas están íntimamente asociadas al suelo y se alimentan de madera con alto grado de humedad. Para obtener el agua requerida, los troncos necesitan algún tipo de contacto con el suelo. Este grupo de termitas construyen tubos exploratorios de lodo y materia fecal, para resguardarse de las hormigas depredadoras y la desecación. Las termitas también pueden construir tubos que conectan la madera estructural al suelo, que se conocen como tubos colgantes o suspendidos. A pesar de tener un aparato bucal masticador, estas termitas obtienen nutrición solo de la celulosa; sin embargo, no pueden digerir la celulosa por sí solas y dependen por completo de varios microorganismos que viven simbióticamente en su intestino (Henderson y Fei, 2002; Potter, 2004).

Hábitos alimenticios e importancia económica de las termitas

Las termitas son en su mayoría herbívoras y detritívoras, pueden consumir desde madera, plantas vivas y muertas, heces, entre otros. Las termitas inferiores consumen madera, especialmente aquellas con presencia de hongos, ya que estos son ricas en proteínas. Las termitas superiores, tienen una amplia variedad de alimentos como la tierra, humus, pasto, hojas, raíces y heces (Radek, 1999; Bignell y Eggleton, 2000; Hinze *et al.*, 2002).

Si bien las termitas se alimentan principalmente de celulosa y lignocelulosa, su dieta puede ser muy variada (Bignell y Eggleton, 2000). Por lo que son consideradas uno de los principales ingenieros de los ecosistemas, al ser capaces de modificar las propiedades físico-químicas del suelo (Dangerfield *et al.*, 1998). La mayoría de las especies de la familia de las termitas superiores, a pesar de producir sus propias enzimas celulasa, dependen de las bacterias para digerir la celulosa (Li *et al.*, 2013). Sin embargo, la mayoría de las familias de termitas

inferiores, viven y consumen el material almacenado por otras termitas (Engel *et al.*, 2009; Vargo y Husseneder, 2009).

Las termitas subterráneas comprenden el 38.3% de las termitas, lo cual está relacionado con su éxito alimenticio y su alta diversidad. Las termitas que se alimentan del suelo tienen menos contenido de tejido vegetal en el intestino posterior que los que se alimentan de madera (Brauman *et al.*, 2000). En algunas especies se puede superponer el tipo de alimentación, sin embargo, es posible clasificarlas de acuerdo a la asociación alimenticia: las de suelo, las que se alimentan de la interfaz suelo/madera, las de hojarasca y las que se alimentan de herbáceas. Aunque también hay otros grupos que se alimentan de algas, líquenes, hongos, estiércol, cadáveres y montículos (Black y Okwakol, 1997; Bignell y Eggleton 2000).

En los Estados Unidos, se estima que las pérdidas económicas asociadas a las termitas son de 11 mil millones de dólares anuales (Su, 2002). Quarles (2007) menciona que la temperatura global está provocando brotes de plagas, especialmente de termitas. Señaló que diversas especies de termitas subterráneas del género *Reticulitermes* se han extendido por todo Estados Unidos, pero su número es más alto en el sureste y en el estado de California, donde el clima es cálido. Además, la propagación gradual de la termita subterránea *C. formosanus* hacia los estados fríos del norte de los Estados Unidos, es una clara indicación del efecto del calentamiento global en esas regiones; por lo cual, es probable que expandan su distribución hacia el norte, con el aumento de la temperatura (Potter, 1997). La expansión de la distribución de las termitas podría ser una amenaza para el medio ambiente, ya que se están produciendo grandes cantidades de metano, un gas de efecto invernadero, que agravará aún más el problema del calentamiento global (Thakur *et al.*, 2003), lo cual traería consigo pérdidas económicas incalculables, producto del aumento del ataque de las termitas hacia bienes con valor económico para el hombre.

Factores que afectan la biología de las termitas

Los factores bióticos y abióticos tienen un efecto importante en la biología de las termitas, donde se ha identificado que las variables abióticas más importantes son la temperatura, el pH y las precipitaciones, las cuales tienen un efecto significativo sobre la supervivencia, el crecimiento, el desarrollo y la reproducción (Omkar y Pervez, 2002, 2004; Pervez y Omkar, 2004).

Temperatura

La temperatura es un factor crucial para la supervivencia, el crecimiento, el desarrollo y la reproducción de los insectos. Es así que el aumento de temperatura desencadena los factores favorables para el desarrollo, crecimiento y reproducción de las termitas. Por ejemplo, la termita de madera seca, *Incisitermes minor* (Hagen) prefiere la temperatura de 27 °C para enjambrar y aumentar su distribución (Harvey, 1946). La termita subterránea *Reticulitermes hesperus* Banks, prefiere temperaturas del suelo que oscilan entre 29 y 32 °C (Smith y Rust, 1994). Para *C. formosanus* las temperaturas de más de 30 °C, aumenta la tasa de alimentación y supervivencia (Fei y Henderson, 2002; Nakayama *et al.*, 2005)

Las termitas que habitan en regiones templadas tienen requerimientos de temperatura más bajos, como se reporta en *R. hesperus*, cuya alimentación es óptima a 21 °C (Smith y Rust, 1993). De manera similar, las termitas que viven en regímenes de temperatura más altos requieren temperaturas más cálidas para su sustento, como en el caso de la termita subterránea *Heterotermes aureus* (Snyder), la cual necesita temperaturas cercanas a los 36 °C para llevar a cabo sus actividades biológicas (Haverty y Nutting, 1974).

La temperatura también influye en la búsqueda de alimento y las actividades estacionales (Potter, 2004), aunque las termitas pueden ventilar y regular la temperatura y la humedad relativa dentro de sus nidos, la búsqueda de alimento es estacional en las termitas subterráneas y se abstienen de buscar alimento

cuando las temperaturas de la superficie del suelo es extremadamente frías (Delaplane, 1991; Smith y Rust, 1994; Turner, 1994).

Humedad

La humedad es un factor abiótico importante para la supervivencia de las termitas, especialmente las subterráneas, ya que al tener una cutícula blanda no pueden retener eficientemente el agua en sus cuerpos, siendo propensas a la desecación. Las termitas dependen directamente de la humedad del medio ambiente o de la fuente de alimento. Los requisitos de humedad del material del nido de las termitas subterráneas varían de 23 % a 60 % en peso (Sponsler y Appel, 1990). Las infestaciones de termitas subterráneas están más asociadas a árboles ligados al agua, lo que indica que se alimentan mejor en áreas con altos contenidos de humedad (Henderson, 2008). Esta preferencia por el alto contenido de humedad de la madera podría depender del hecho de que la humedad ablanda la fibra de madera facilitando así su masticación (Delaplane y La Fage, 1989).

Sustrato

A fin de obtener resultados exitosos en bioensayos, es importante conocer las condiciones óptimas para mantener especies de termitas, no solo en lo que respecta a los requisitos de temperatura y humedad, sino también la idoneidad del sustrato (Lenz, 2005). La fuente de agua disponible para las termitas además de provenir de la humedad, puede ser obtenida del agua metabólica obtenida a través de la descomposición de los alimentos, del cuerpo graso, agua líquida libre, así como el agua unida a varios sustratos, como por ejemplo, madera, suelo y cadáveres de compañeros de nido Brammer y Scheffrahn, 2007, Scheffrahn y Su, 2007).

Estrategias de control

El control de las termitas se ha basado en uso de conservantes de madera, aplicación de termiticidas, sistemas de cebo y uso de entomopatógenos.

Inicialmente se pretendía conservar las maderas con valor comercial a través de compuestos que utilizaban arsénico como base (Preston, 2000). Posteriormente, la industria encargada del control de termitas en Estados Unidos comenzó a emplear termitocidas como clordano, aldrín y dieldrín para prevenir y controlar las termitas subterráneas (Lewis, 1980; Su y Scheffrahn, 1990b). Los ciclodienos fueron muy populares en la década de 1940, por su bajo costo, efectividad y estabilidad en la aplicación, comúnmente era usado como método de protección ante los ataques en los hogares (Su y Scheffrahn, 1990b; Grace *et al.*, 1993). Sin embargo, se registraron efectos nocivos de estos químicos en el medio ambiente y en la salud humana, producto de su toxicidad residual, la cual, se acumulaba en los tejidos grasos de los humanos y animales, siendo finalmente prohibido por la EPA en 1988 (Jitunari *et al.*, 1995; Nasir *et al.*, 1998; Walker y Newton, 1998).

Productos con nuevas formulaciones de organofosfatos (clorpirifos, pryfon) y piretroides sintéticos fueron propuestos para el manejo de las termitas, pero no duraron en el mercado por su rápida degradación residual. Aunado a los efectos producidos por la interacción con los factores ambientales, como la unión con partículas de arcilla y celulosa, haciéndolo menos tóxicos para las termitas subterráneas (Lenz *et al.*, 1990; Smith y Rust, 1993). Además, se observó que era altamente tóxico para las aves y los animales acuáticos y que representaba un grave riesgo para la salud de los seres humanos (Odenkirchen y Eisler, 1988).

Los piretroides, surgieron como un controlador eficaz de las termitas por contacto, pero su propiedad repelente permite a las termitas detectar la sustancia química y evitar las zonas tratadas. Por lo tanto, en lugar de morir, era más probable que las termitas evadieran los lugares donde era aplicado el tratamiento (Forschler, 1994). Los termitocidas de acción retardada y no repelentes como fipronil, imidacloprid y clorfenapir, los cuales salieron al mercado en la década del 2000, proporcionaban nuevas oportunidades que no atendían los productos químicos anteriores, como la repelencia y exhibir una mortalidad tardía, lo que permite que las termitas transmitan sustancias tóxicas al resto de los individuos

(Potter y Hillery, 2002; Wagner *et al.*, 2003). Sin embargo, uno de los problemas más importantes eran el precio elevado de estos productos (Wagner *et al.*, 2003).

Con los problemas continuos en la salud humana y los peligros ambientales, comenzó a surgir un interés en crear cebos para el control de las termitas (Tamashiro, 1991; Robertson y Su, 1995). Algunos cebos comerciales contaban como ingrediente activo: hexaflumuron, sulfuramida, diflubenzuron, entre otros (Henderson y Forschler, 1997; Su y Scheffrahn, 1998; Potter, 2001). Se implementaron sistemas subterráneos de cebo, tratando de aprovechar el comportamiento de forrajeo de las termitas y su sistema de transferencia de alimentos para reducir la población o eliminar toda la colonia de un área (Su *et al.*, 1995). Sin embargo, en la práctica, los comportamientos subterráneos de forrajeo de termitas son variables y no se comprenden adecuadamente (Thorne *et al.*, 1996), por lo que el éxito de un sistema de cebo también fue impredecible (Forschler, 1996).

El éxito del uso de cebos en el control de termitas depende en gran medida, de la comprensión detallada del complejo comportamiento de búsqueda de alimento de estos insectos. Sin embargo, el comportamiento de búsqueda de alimento de las termitas subterráneas es muy impredecible, ya que está influenciado por una variedad de factores bióticos y abióticos. De los factores abióticos, la humedad y la temperatura probablemente juegan el papel más importante para determinar qué áreas son las más adecuadas para estos insectos propensos a la desecación (Emerson, 1955, Rudolph *et al.*, 1990).

Otro método de control que ha recibido especial atención en los últimos años es el uso los entomopatógenos para el control biológico de las termitas (Culliney y Grace, 2000). Sin embargo, las pruebas en campo no han arrojado resultados exitosos debido a la capacidad de las termitas de prevenir la aparición de epizootias en los termiteros (Chouvenc *et al.*, 2008), producto de la interacción

de varios mecanismos de resistencia a enfermedades (Cremer, 2007; Wilson-Rich *et al.*, 2009; Chouvenec y Su, 2010; Rosengaus *et al.*, 2010).

ANTECEDENTES

Este trabajo es el primer estudio que toma en cuenta de manera conjunta las variables de temperatura, humedad relativa, sustratos y humedad del sustrato para la supervivencia de *C. testaceus* y *N. cornigeres*. Si bien, se encontraron reportes de termitas de la familia Rhinotermitidae y Termitidae, ninguno de ellos incluyó a *C. testaceus* y *N. corniger*. Otra gran parte de los reportes encontrados centraron su atención a especies de la familia Kalotermitidae. A continuación, se presenta una reseña histórica sobre los estudios antes mencionados, los cuales, fueron de valiosa ayuda para el desarrollo de la presente investigación.

Fei y Henderson (2002), realizaron un estudio sobre la termita subterránea Formosan (Isoptera: Rhinotermitidae) como es afectado el consumo de alimento y supervivencia de obreras de esta especie por la temperatura y proporción de soldados. Encontraron que la supervivencia de las termitas fue significativamente más alta a 30 °C después de 12 días de prueba. Hubo una interacción significativa de la temperatura y la proporción de soldados sobre la supervivencia de las termitas después de 36 d. La tasa de consumo aumentó significativamente con el aumento de la temperatura hasta 30 °C. Las tasas de consumo tendieron a ser mayores a medida que aumentaba la proporción de soldados.

Nakayama *et al.* (2004), estudiaron la combinación óptima de temperatura y humedad para las actividades de alimentación de termitas subterráneas japonesas. Encontraron que la actividad de obreras de *Coptotermes formosanus* Shiraki y *Reticulitermes speratus* (Kolbe), fueron más altos en alrededor de 30 °C. Las obreras murieron a 40 °C en cinco días y dos días para *C. formosanus* y *R. speratus*, respectivamente. La condición óptima de HR para la actividad de alimentación fue del 90% para *C. formosanus* y del 70-90% de HR para *R. speratus*. Las combinaciones de temperatura óptima y HR para las actividades de

alimentación fueron de 30 °C a 90% de HR para *C. formosanus* y 30 °C a 70-90% de HR para *R. speratus*.

Indrayani et al. (2007), evaluaron la preferencia de temperatura y humedad relativa de la termita de madera seca occidental *Incisitermes minor* (Hagen) usando monitoreo de emisión acústica. Después de probar 24 combinaciones de seis temperaturas (15, 20, 25, 30, 35 y 40 °C) y cuatro humedades relativas (HR) (60%, 70%, 80% y 90%) en *pseudergates* de la termita de madera seca occidental *Incisitermes minor* (Hagen). La temperatura y la HR se mostraron independientes e interactivos efectos significativos sobre la actividad de alimentación de *I. minor*. Las condiciones óptimas de temperatura y HR para las actividades de alimentación fueron 35 °C y 70%, respectivamente, y las combinaciones óptimas fueron 35 °C – 70% y 35 °C – 80% con una actividad de alimentación excepcionalmente más alta en la combinación de 30 °C – 70%.

McManamy et al. (2008), estudiaron cómo el contenido de humedad en madera afecta la supervivencia de la termita subterránea del este (Isoptera: Rhinotermitidae), bajo condiciones de humedad relativa saturada. Para ello, evaluaron la supervivencia de *Reticulitermes flavipes* (Kollar), en condiciones de humedad relativa saturada y contenido de humedad de la madera en un rango de 20 a 30%. Con un contenido de humedad en madera del 20 al 24%, el tiempo de supervivencia del 50% de las termitas fue <12,5 d. La supervivencia de las termitas aumentó significativamente con los aumentos de contenido de humedad en la madera.

Gazal et al. (2010), realizaron un estudio para evaluar la preferencia de alimento de *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae). Después de probar tres especies de maderas (*Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis* y *Manilkara huberi*), encontraron que *N. corniger* manifiesta una preferencia por determinada especie de madera, en este caso *E. grandis*.

Wong y Lee (2010), estudiaron la influencia de diferentes humedades del sustrato sobre el consumo de madera y los patrones de movimiento de *Microcerotermes crassus* y *Coptotermes gestroi* (Blattodea: Termitidae, Rhinotermitidae). Encontraron que el contenido de humedad del sustrato afectó el consumo de madera e influyó en la distribución de *Microcerotermes crassus* a través de un gradiente de humedad. De igual forma, encontraron que cambiar los parámetros de humedad afectó la preferencia de ubicación de *C. gestroi*, pero el efecto sobre el consumo de madera no fue significativo.

Gautam y Henderson (2011), realizaron un estudio para evaluar el consumo de madera por las termitas subterráneas de Formosan (Isoptera: Rhinotermitidae) afectadas por el contenido de humedad de la madera. Encontraron que el mayor consumo de obreras de *Coptotermes formosanus* se presentó en los bloques de madera con alto contenido de humedad a las tres temperaturas evaluadas (19, 28 y 35 °C). En las pruebas de no elección, el mayor consumo de madera también se obtuvo en bloques de madera con contenido de humedad a las tres temperaturas. En las pruebas de no elección, la mortalidad significativa fue observada con termitas expuestas a bloques de madera secas o con bajo contenido de humedad. Se encontró que la mortalidad de las termitas era más alta con una temperatura ambiente más alta. No se observó alimentación sostenida en bloques de madera con 24% de contenido de humedad. La temperatura jugó un papel vital y complementario para el consumo de madera en todos los niveles de humedad.

Wiltz (2012), estudió el efecto de la temperatura y humedad en la supervivencia de *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae). Estas dos especies de termitas subterráneas fueron expuestas a 30 combinaciones de seis temperaturas (10, 15, 20, 25, 30 y 35 °C) y cinco humedades relativas (RH) (55, 65, 75, 85 y 99%) para determinar las condiciones óptimas de supervivencia. Para ambas especies, los tiempos de supervivencia fueron más largos a bajas temperaturas y HR alta. La Supervivencia máxima

obreras y soldados de *C. formosanus* y *R. flavipes* ocurrieron en la combinación de 10 °C y 99% HR.

Cao y Su (2015), Evaluaron la preferencia de temperatura de cuatro especies de termitas subterráneas (Isoptera: Rhinotermitidae) y el efecto de la temperatura sobre su supervivencia y tasa de consumo de madera. Sus resultados mostraron que la actividad de *Coptotermes gestroi*, de *Coptotermes formosanus*, *Reticulitermes virginicus* y *R. flavipes* se encontraron en rangos de temperatura de 13.0 a 38.6, 9.3 a 38.1, 8.2 a 36.7 y 5.2-34.0 °C, respectivamente. *Reticulitermes* spp. Prefirió temperaturas significativamente más bajas que *Coptotermes* spp. Dentro del rango de temperatura de 20 a 25 °C, la tasa de supervivencia y consumo de madera no fueron significativamente diferente entre las cuatro especies. *R. flavipes* sobrevivió a 10 °C pero no a 35 °C. *C. gestroi* no sobrevivió a 10 °C, pero la tasa de consumo de madera a 35 °C fue significativamente más alta que la de otras temperaturas en el rango de 15-30 °C.

Zukowski y Su (2017), estudiaron la supervivencia de termitas (Isóptera) expuestas a varios niveles de humedad relativa (HR) y disponibilidad de agua y su preferencia hacia humedades relativas. Para ello, las termitas fueron expuestas a cinco diferentes HR, y el uso de diferentes fuentes de agua. Sus resultados mostraron que *Coptotermes formosanus* Shiraki (Rhinotermitidae) prefirió y sobrevivió mejor a alta HR y con fuentes de agua fácilmente disponibles. *Neotermes jouteli* (Banks en Banks & Snyder) (Kalotermitidae) también prefirió un HR alta, pero fue más capaz de tolerar una HR más baja y una falta de agua libre. *C. formosanus*. *Cryptotermes brevis* Walker (Kalotermitidae) y *Cryptotermes cavifrons* Banks (Kalotermitidae) no mostraron mayor supervivencia en una cierta HR ni cuando se expusieron a diversas fuentes de agua. Estas dos especies tampoco mostraron preferencia por una HR determinada.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar en laboratorio la supervivencia de *C. testaceus* y *N. corniger* bajo distintas condiciones ambientales y preferencia hacia diferentes sustratos.

Objetivo específicos

Determinar en laboratorio la supervivencia de *C. testaceus* y *N. corniger* expuestas a tres temperaturas.

Estimar en laboratorio la supervivencia de *C. testaceus* y *N. corniger* expuestas a diferentes concentraciones de humedad relativa.

Evaluar en laboratorio la preferencia de *C. testaceus* y *N. corniger* hacia seis tipos de maderas, considerando una temperatura y humedad relativa constante.

Determinar en laboratorio la supervivencia de *C. testaceus* y *N. corniger* expuestas a cuatro humedades de sustrato, con temperatura y humedad constante.

LITERATURA CITADA

- Amaral-Castro, N. R., Zanetti, R., Moraes, J. C., Zanuncio, J. C., Freitas, G. D., & Santos, M. S. (2004). Species of soil inhabiting termites (Insecta: Isoptera) collected in Eucalyptus plantations in the state of Minas Gerais, Brazil. *Sociobiology*, 44(3), 717-726.
- Apolinário, F. E., & Martius, C. (2004). Ecological role of termites (Insecta, Isoptera) in tree trunks in central Amazonian rain forests. *Forest Ecology and Management*, 194(1-3), 23-28.
- Araujo, R. L. (1977). Catálogo dos Isoptera do novo mundo. In *Catálogo dos isoptera do novo mundo* (pp. 92-92).
- Bandeira, A. G., Gomes, J. I., Lisboa, P. L. B., & Souza, P. C. S. (1989). Insetos pragas de madeiras de edificacoes em Belém-Para. *Embrapa Amazônia Oriental-Séries anteriores (INFOTECA-E)*.
- Bignell, D. E., & Eggleton, P. (2000). *Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology*. Springer Science & Business Media.
- 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.
- Boulogne, I., Constantino, R., Amusant, N., Falkowski, M., Rodrigues, A. M., & Houël, E. (2017). Ecology of termites from the genus *Nasutitermes* (Termitidae: Nasutitermitinae) and potential for science-based development of sustainable pest management programs. *Journal of Pest Science*, 90(1), 19-37.

- Brammer, A. S., Scheffrahn & R. H. (2007). A drywood termite. *Cryptotermes cavifrons* Banks (Insecta: Isoptera: Kalotermitidae). University of Florida Institute of Food and Agricultural Services, Entomology & Nematology Department.
- Brauman, A., Bignell, D. E., & Tayasu, I. (2000). Soil-feeding termites: biology, microbial associations and digestive mechanisms. In *Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology* (pp. 233-259). Springer, Dordrecht.
- Campora, C. E., & Grace, J. K. (2004). Effect of average worker size on tunneling behavior of formosan subterranean termite colonies. *Journal of Insect Behavior*, 17, 777-791.
- Cao, R., & Su, N. Y. (2015). Temperature preferences of four subterranean termite species (Isoptera: Rhinotermitidae) and temperature-dependent survivorship and wood-consumption rate. *Annals of the Entomological Society of America*, 109, 64-71.
- Capetillo-Concepción, E., Pérez-De La Cruz, M., De La Cruz-Pérez, A., & Magaña-Alejandro, M. A. (2019). Hospederos, infestación y distribución de *Coptotermes testaceus* (Linnaeus) (Blattodea: Rhinotermitidae) en áreas forestales de Tabasco, México. *Revista Chilena de Entomología*, 45(4), 533-543.
- Chouvenc, T., & Su, N. Y. (2014). Colony-age dependent pathway in caste development of *Coptotermes formosanus* Shiraki. *Insectes Sociaux*, 61, 171-182.
- Costa-Leonardo, A. M., & Rebêlo, J. M. M. (2002). Cupins-praga: morfologia, biologia e controle. In *Cupins-Praga: morfologia, biologia e controle* (pp. 128-128).
- Cremer, S., & Armitage, S. A. O. (2007). Schmid- Hempel, P. *Social Immunity*. *Curr. Biol*, 17, R693-R702.

- Culliney, T. W., & Grace, J. K. (2000). Prospects for the biological control of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae), with special reference to *Coptotermes formosanus*. *Bulletin of Entomological Research*, 90, 9-21.
- Dangerfield, J. M., McCarthy, T. S., & Ellery, W. N. (1998). The mound-building termite *Macrotermes michaelseni* as an ecosystem engineer. *Journal of tropical Ecology*, 14, 507-520.
- Dávila, G. D. L. C. C., & López-Bello, M. (2013). Aspectos de la taxonomía, distribución y biología de las termitas (Insecta: Isoptera) del centro histórico de la Habana, Cuba. *Boletín de la SEA*, (53), 253-258.
- Delaplane, K. S. (1991). Foraging and feeding behavior of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology*, 19, 101-114.
- Delaplane, K. S., & LaFage, J. P. (1989). Foraging tenacity of *Reticulitermes flavipes* and differentiation in Formosan subterranean termite. *Journal of Insect Physiology*, 56, 725-730.
- Donovan, S. E., Eggleton, P., & Bignell, D. E. (2001b). Gut content analysis and a new feeding group classification of termites. *Ecological Entomology*, 26, 356-366.
- Eggleton, P. (2000). Global patterns of termite diversity. In T. Abe, D. E. Bignell, & M. Higashi (Eds.), *Termites: Evolution, sociality, symbioses, ecology* (pp. 25-51). Springer, Dordrecht.
- Engel, M. S., Grimaldi, D. A., & Krishna, K. (2009). Termites (Isoptera): Their phylogeny, classification, and rise to ecological dominance. *American Museum Novitates*, 3650, 1-27.
- Fei, H., & Henderson, G. (2002). Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) wood consumption and worker survival as affected by temperature and soldier proportion. *Environmental Entomology*, 31, 509-514.

- Forschler, B. T. (1994). Survivorship and tunneling activity of *Reticulitermes flavipes* (Kollar)(Isoptera: Rhinotermitidae) in response to termiticide soil barriers with and without gaps of untreated soil. *Journal of Entomological Science*, 29(1), 43-54.
- Forschler, B. T. (1996). Incidence of feeding by the eastern subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in laboratory bioassays. *Sociobiology* 28: 265-273.
- Freyman, B. P., Buitenwerf, R., & Desouza, O. (2008). The importance of termites (Isoptera) for the recycling of herbivore dung in tropical ecosystems: A review. *European Journal of Entomology*, 105, 165-173.
- Gautam, B. K. & Henderson G. (2008). Effects of m-tyrosine on feeding and survival of Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 11, 1088-1093.
- Gautam, B. K., & Henderson, G. (2011). Wood consumption by Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) as affected by wood moisture content and temperature. *Annals of the Entomological Society of America*, 104(3), 459-464.
- Gazal, V., Bailez, O., & Viana-Bailez, A. M. (2010). Wood preference of *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae). *Sociobiology*, 55(2), 433-444.
- Grace, K. J., Yates, J. R., Tamashiro, M., & Yamamoto, R. T. (1993). Persistence of organochlorine insecticides for Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) control in Hawaii. *Journal of economic entomology*, 86(3), 761-766.
- Grasse, P. P., & Noirot, C. (1947). Le polymorphisme social du termite a coujaune (*Kaloterms flavicollis* F.) Les faux-ouvriersou pseudergates et les mues regressive. C R AcadSci 214:219- 2001 Entomopathogenic Nematodes: Potential for exploration and use in South America. *Neotropical Entomology*, 30, 191-205.

- Harvey PA (1946) Life history of *Kaloterme minor*. In: Kofoid CA, Termites and termite control University of California Press, Berkeley, pp 217-233.
- Haverty, M. I., & Howard, R. W. (1981). Production of soldiers and maintenance of soldier proportions by laboratory experimental groups of *Reticulitermes flavipes* (Kollar) and *Reticulitermes virginicus* (Banks) (Isoptera: Rhinotermitidae). *Insectes Sociaux*, 28, 32-39.
- Haverty, M. I., & Nutting, W. I. (1974). Natural wood-consumption rates and survival of a dry-wood and a subterranean termite at constant temperatures. *Annals of Entomological Society of America*, 67, 153-157.
- Henderson, G. (2008). The termite menace in New Orleans: Did they cause the floodwalls to tumble? *American Entomologist*, 54, 156-162.
- Henderson, G., & Fei, H. (2002). *Comparison of native subterranean termite and Formosan subterranean termite: Biology, ecology, and methods of control*. Forest Products Society Conference, 11-13 Feb. 2002. Radisson Resort Parkway, Kissimmee, Florida.
- Hernández-Rodríguez, S., López-Hernández, J., Valdés-Perezgasca, M. T., Sanchez-Ramos, F. J., Cueto-Medina, S. M., & Castillo-Martínez, A. (2015). Termitas subterráneas que causan daño a edificios en el área urbana de Torreón, Coahuila, México. *Entomología Mexicana*, 2, 701-705.
- Hinze, B., Crailsheim, K., & Leuthold, R. H. (2002). Polyethism in food processing and social organization in the nest of *Macrotermes bellicosus* (Isoptera, Termitidae). *Insectes Sociaux*, 49, 31-37.
- Hrdy, I., Kuldova, J., Hanus, R., & Wimmer, Z. (2006). Juvenile hormone III, hydroprene and a juvenogen as soldier caste differentiation regulators in three *Reticulitermes* species: Potential of juvenile hormone analogues in termite control. *Pest Management Science*, 62, 848-854.

- Indrayani, Y., Yoshimura, T., Yanase, Y., Fujii, Y., & Imamura, Y. (2007). Evaluation of the temperature and relative humidity preferences of the western dry-wood termite *Incisitermes minor* (Hagen) using acoustic emission (AE) monitoring. *Journal of Wood Science*, 53(1), 76-79.
- Inward, D., Beccaloni, G., & Eggleton, P. (2007). Death of an order: a comprehensive molecular phylogenetic study confirms that termites are eusocial cockroaches. *Biology letters*, 3(3), 331-335.
- Jitunari, F., Asakawa, F., Takeda, N., Suna, S., & Manabe, Y. (1995). Chlordane compounds and metabolite residues in termite control workers' blood. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 54(6), 855-862.
- Jones, R. J. (1980). Gallery construction by *Nasutitermes costalis*: Polyethism and the behavior of individuals. *Insectes Sociaux*, 27, 5-28.
- Kambhampati, S., & Eggleton, P. (2000). Taxonomy and phylogeny of termites. In T. Abe, D. E. Bignell, & M. Higashi (Eds.), *Termites: Evolution, sociality, symbiosis, ecology* (pp. 1-23). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Krishna, K., Grimaldi, D. A., Krishna, V., & Engel, M. S. (2013). Treatise on the Isoptera of the World: References and Index. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 2013(377), 2433-2705.
- Laine, L., & Wright, D. J. (2003). The life cycle of *Reticulitermes* spp. (Isoptera: Rhinotermitidae) what do we know? *Bulletin of Entomological Research*, 93, 267-378.
- Lavelle, P., Dangerfield, M., Fragoso, C., Eschenbrenner, V., Lopez-Hernandez, D., Pashanasi, B., & Brussaard, L. (1994). The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. *The biological management of tropical soil fertility.*, 137-169.
- Lee, K. E., & Wood, T. G. (1971). *Termites and soils*. Academic Press. Londres, 249 pp.

- Lenz, M., Watson, J. A. L., Barrett, R. A., & Runko, S. (1990). The effectiveness of insecticidal soil barriers against subterranean termites in Australia.
- Lewis, D. L. (1980). Environmental and health aspects of termite control chemicals. *Sociobiology*, 5, 197–203.
- Li, Z. Q., Liu, B. R., Zeng, W. H., Xiao, W. L., Li, Q. J., & Zhong, J. H. (2013). Character of cellulase activity in the guts of flagellate-free termites with different feeding habits. *Journal of Insect Science*, 13, 1-8.
- López-Vera, E. E., Hernández-Pérez, L., López-Corzo, A., Sámano-Garduño, D., & Domínguez-Monge, S. (2018). Primer Registro de *Coptotermes testaceus* Afectando Maíz (*Zea mays* L.) en el Estado de Campeche, México. *Southwestern Entomologist*, 43(3), 811-813.
- Luscher, M. (1969). Die Bedeutung des Juvenilhormons für die Differenzierung unger Soldaten bei der Termitenart *Kalotermes flavicollis*. In *Proceeding of the 6th congress of the international union of Macrotermes michaelsoni* as an ecosystem engineer. *Journal of Tropical Ecology*, 14, 507-520.
- Mao, L., & Henderson, G. (2010). Group size effect on worker juvenile hormone titers and soldier differentiation in Formosan subterranean termite. *Journal of Insect Physiology*, 56(7), 725-730.
- Mao, L., Henderson, G., Liu, Y., & Laine, R. A. (2005). Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) soldiers regulate juvenile hormone levels and caste differentiation in workers. *Annals of the Entomological Society of America*, 98, 340-345.
- McMahan, E. A., Kumar, S., & Sarma, P. K. S. (1984). Male/Female (size) polyethism in workers of *Odontotermes distans* Holmgren and Holmgren (Isoptera: Termitidae: Macrotermitinae). *Annals of the Entomological Society of America*, 77, 429-434.

- McManamy, K., Koehler, P. G., Branscome, D. D., & Pereira, R. M. (2008). Wood moisture content affects the survival of eastern subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae), under saturated relative humidity conditions. *Sociobiology*, 52(1), 145-156.
- Méndez, M.J.T. & Equihua, M.A (2001). Diversidad y manejo de los termes de México (Hexapoda, Isoptera). *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, (Es1), 173-187.
- Milano, S. (1998). Diagnóstico e controle de cupinsem áreas urbanas. *Cupins: O desafio do conhecimento. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. Piracicaba. Brazil*, 45-74.
- Myles, T. G. (2005). Termite biology, urban entomology programme. Online at <http://www.utoronto.ca/forest/termite/termite.htm>.
- Myles, T. G. (2005). *Termite biology, urban entomology programme*. Online at <http://www.utoronto.ca/forest/termite/termite.htm>
- Nakayama, T., Yoshimura, T., & Imamura, Y. (2004). The optimum temperature-humidity combination for the feeding activities of Japanese subterranean termites. *Journal of Wood Science*, 50, 530-534.
- Nakayama, T., Yoshimura, T., & Imamura, Y. (2005). Feeding activities of *Coptotermes formosanus* Shiraki and *Reticulitermes speratus* (Kolbe) as affected by moisture content of wood. *Journal of Wood Science*, 51, 60-65.
- Nasir, K., Bilito, Y. Y., & Al-Shuraiki, Y. (1998). Residues of chlorinated hydrocarbon insecticides in human milk of Jordanian women. *Environmental Pollution*, 99(2), 141-148.
- Nickle, D. A., & Collins, M. S. (1992). The termites of Panama. *Insects of Panama and Mesoamerica*, 208-241.

- Noirot, C., & Pasteels, J. M. (1987). Ontogenetic development and evolution of the worker caste in termites. *Experientia*, 43, 851-860.
- Odenkirchen, E. W., & Eisler, R. (1988). *Chlorpyrifos hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review* (No. 13). Fish and Wildlife Service, US Department of the Interior.
- Omkar, & Pervez, A. (2002). Influence of temperature on age specific fecundity of a lady beetle, *Micraspis discolor* (Fabricius). *International Journal of Tropical Insect Science*, 22, 61-65.
- Omkar, & Pervez, A. (2004). Temperature dependent development and immature survival of an aphidophagous ladybeetle, *Propylea dissecta* (Mulsant). *Journal of Applied Entomology*, 128, 510-514.
- Park, Y. I., & Raina, A. K. (2004). Juvenile hormone III titers and regulation of soldier caste in *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Insect Physiology*, 50, 561-566.
- Park, Y. I., & Raina, A. K. (2005). Regulation of juvenile hormone titers by soldiers in the Formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus*. *Journal of Insect Physiology*, 51, 385-391.
- Pervez, A., & Omkar. (2004). Temperature dependent life attributes of an aphidophagous ladybird, *Propylea dissecta* (Mulsant). *Biocontrol Science and Technology*, 14, 587-594.
- Philip, H. (2004). Biology and control of the subterranean termite (Pest management factsheet 98-01). Online at <http://www.agf.gov.bc.ca/cropprot/termite.htm>
- Potter, M. F. (1997). Termites. In D. Moreland (Ed.), *Handbook of pest control* (8th ed., pp. 233-332). Cleveland: Mallis Handbook and Technical Training Co.

- Potter, M. F. (2001). Managing subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) in the Midwest with hexaflumuron bait and placement considerations around structures. *Sociobiology*, 38, 565-584.
- Potter, M. F. (2004). Termites. In A. Mallis, S. A. Hedges, & D. Moreland (Eds.), *Handbook of pest control* (9th ed., pp. 217-361). Cleveland: GIE Media Inc.
- Potter, M. F., & Hillery, A. E. (2002). Exterior-targeted liquid termiticides: an alternative approach to managing subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) in buildings. *Sociobiology*, 39(3), 373-405.
- Preston, A. F. (2000). Wood preservation: trends of today that will influence the industry tomorrow. *Forest Products Journal* 50, 13-19.
- Quarles, W. (2007). Global warming means more pests. *The IPM Practitioner*, 24, 1-8.
- Radek, R. (1999). Flagellates, bacteria, and fungi associated with termites: Diversity and function in nutrition-A review. *Ecotropica*, 5, 183-196.
- Robertson, A. S., & Su, N. Y. (1995). Discovery of an effective slow-acting insect growth regulator for controlling subterranean termites. *Down to Earth*, 50(1), 1-7.
- Roisin, Y., & Korb, J. (2010). Social organisation and the status of workers in termites. In *Biology of termites: a modern synthesis* (pp. 133-164). Springer, Dordrecht.
- Rosengaus, R. B., Traniello, J. F., & Bulmer, M. S. (2010). Ecology, behavior and evolution of disease resistance in termites. In *Biology of termites: a modern synthesis* (pp. 165-191). Springer, Dordrecht.
- Rudolph, D., Glocke, B., & Rathenow, S. (1990). On the role of different humidity parameters for the survival, distribution and ecology of various termite species. *Sociobiology* 17, 129-140.

- Santos, D. R., Oliveira, L. M., Lucchese, A. M, De Freitas Espeleta A, Da Cruz J. D., & Lordelo, M. S. (2020). Insecticidal activity of essential oils of species from the genus *Lippia* against *Nasutitermes corniger* (Motschulsky)(Isoptera: Termitidae). *Sociobiology* 67: 292-300.
- Scheffrahn, R. H., & Su, N-Y. (2007). West Indian drywood termite. *Cryptotermes brevis*(Walker) (Insecta: Isoptera: Kalotermitidae). University of Florida Institute of Food and Agricultural Services, Entomology & Nematology Department.
- Scheffrahn, R.H., Carrijo, T.F., Křeček, J., Su, N.Y., Szalanski, A.L., Austin, J.W., Chase, J.A. & Mangold, J.R. (2015). A single endemic and three exotic species of the termite genus *Coptotermes* (Isoptera, Rhinotermitidae) in the New World. *Arthropod Systematics and Phylogeny*, 73: 333-348.
- Smith, J. L., & Rust, M. K. (1993). Effect of relative humidity and temperature on the survival of *Reticulitermes hesperus*(Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology* 21, 217-224.
- Smith, J. L., & Rust, M. K. (1994). Temperature preferences of the western subterranean termite, *Reticulitermes Hesperus* Banks. *Journal of Arid Environments*, 28, 313-323.
- Sponsler, R. C., & Appel, A. G. (1990).Aspects of the water relations of the Formosan and eastern subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *Environmental Entomology*, 19(1), 15-20.
- Su, N. Y. (1995). Population control of subterranean termites using bait matrix containing hexaflumuron. *Down to Earth*, 1, 8-19.
- Su, N. Y. (2002). Novel technologies for subterranean termite control. *Sociobiology*, 40(1), 95-102.

- Su, N. Y., & Scheffrahn, R. H. (1990b). Comparison of eleven soil termiticides against the Formosan subterranean termite and eastern subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 83(5), 1918-1924.
- Su, N. Y., & Scheffrahn, R. H. (1998). A review of subterranean termite control practices and prospects for integrated pest management programmes. *Integrated Pest Management Reviews*, 3(1), 1-13.
- Su, N. Y., & Scheffrahn, R. H. (2000). Termites as pest of buildings, pp. 437-453. In T. Abe, D. E. Bignell and M. Higashi (eds.), *Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, NL.
- Tamashiro, M. (1991). Tunneling behavior of the Formosan subterranean termite and basalt barriers. *Sociobiology*, 19, 163-170.
- Thakur, R. K., Hooda, N., & Jeeva, V. (2003). Termites and global warming, a review. *Indian Forester*, 129, 923-930.
- Thompson, G. (2000). *Termites* (Tropical topics news letter No. 64, pp. 1-8). Tropical Savanna CRC, Environmental Protection Agency, The State of Queensland, Australia.
- Thorne, B. L. (1996). Termite terminology. *Sociobiology*, 28, 253-263.
- Thorne, B. L., Breisch, N. L., & Muscedere, M. L. (2003). Evolution of eusociality and the soldier caste in termites: Influence of intraspecific competition and accelerated inheritance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 12808-12813.
- Thorne, B. L., Russek-Cohen, E., Forschler, B. T., Breisch, N. L., & Traniello, J. F. (1996). Evaluation of mark-release-recapture methods for estimating forager population size of subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) colonies. *Environmental Entomology*, 25(5), 938-951.

- Tsai, C. C., & Chen, C. S. (2000). Ecology and control of termites. In S. J. Lee & C. H. Wang (Eds.), *Ecology and control of domestic pests* (pp. 199-218). Taichung: National Chung Hsing University/Agricultural Extension Center.
- Tsai, M. J. (2007). *Handbook for wood preservative treatment on wooden structural members of historical buildings in Taiwan*. Taipei: Arch Build Res Inst/Ministry of the Interior.
- Turner, J. S. (1994). Ventilation and thermal constancy of a colony of a southern African termite (*Odontotermes transvaalensis*: (Macrotermitinae). *Journal of Arid Environments*, 28, 231-248.
- Vargas-Niño, A. P., Sánchez-Muñoz, O. D., & Serna-Cardona, F. J. (2005). Lista de los géneros de Termitidae (Insecta: Isoptera) de Colombia. *Biota Colombiana*, 6(2), 181-190.
- Vargo, E. L., & Husseneder, C. (2009). Biology of subterranean termites: Insights from molecular studies of *Reticulitermes* and *Coptotermes*. *Annual Review of Entomology*, 54, 379-403.
- Wagner T., Mulrooney, J., Shelton, T., & Petersen, C. (2003). Reduced risk products steal spotlight. *Termiticide Rep.* 71, 16-23.
- Walker, C. H., & Newton, I. (1998). Effects of cyclodiene insecticides on the sparrowhawk (*Accipiter nisus*) in Britain-a reappraisal of the evidence. *Ecotoxicology*, 7(4), 185-189.
- Wilson-Rich, N., Spivak, M., Fefferman, N. H., & Starks, P. T. (2009). Genetic, individual, and group facilitation of disease resistance in insect societies. *Annual review of entomology*, 54, 405-423.

Wiltz, B. (2012). Effect of temperature and humidity on survival of *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology*, 59: 381-394.

Wong, N., & Lee, C. Y. (2010). Effects of disturbance and the presence of termite and other invertebrate carcasses at feeding sites on the behavior of the subterranean termite *Microcerotermes crassus* (Blattodea: Termitidae). *Sociobiology*, 55(2), 353-368.

Yang, P. S., Fan, Y. B., & Hsaio, C. H. (2002). *Pictorial guide to common forest pests in Taiwan II* Taipei: Forestry Bureau/Council of Agriculture/Executive Yuan.

Yi, S. T. (1954). Termite problem in Taiwan. *Journal of Taiwan Bank*, 6, 241-266.

Zukowski J., & Su N. Y. (2017). Survival of termites (Isoptera) exposed to various levels of relative humidity (RH) and water availability, and their RH preferences. *Florida Entomologist*, 100, 532-539.

CAPITULO 2: Survival of *Coptotermes testaceus* (Isoptera: Rhinotermitidae) to Environmental Conditions (Relative Humidity and Temperature) and Preference to Different Substrates



RESEARCH ARTICLE - TERMITES

Survival of *Coptotermes testaceus* (Isoptera: Rhinotermitidae) to Environmental Conditions (Relative Humidity and Temperature) and Preference to Different Substrates

CO Pozo-Santiago¹, M Pérez-De la Cruz², M Torres-De la Cruz², A De la Cruz-Pérez², S Capello-García², MA Hernández-Gallegos³, JR Velázquez-Martínez⁴

1 - Facultad Maya de Estudios Agropecuarios-Universidad Autónoma de Chiapas. Catazajá, Chiapas, México

2 - División Académica de Ciencias Biológicas-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México

3 - División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Jalpa de Méndez, Tabasco, México

4 - División Académica de Ciencias Agropecuarias-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México

Article History

Edited by

Og DeSouza, UFV, Brazil

Thomas Chouvenec, UFL, USA

Received 10 April 2020 Initial

acceptance 29 June 2020 Final

acceptance 17 August 2020

Publication date 30 September 2020

Keywords

Termite, subterranean, woods, agricultural, control, *Eucalyptusurophylla*.

Corresponding author

J Rodolfo Velázquez Martínez Carretera
Villahermosa-Teapa, Km 25+2
Ranchería la Huasteca 2 da seccion,
86298 Villahermosa, Tabasco, México.
E-Mail: jrodolfovelazquez@gmail.com

Abstract

Coptotermes testaceus (L.) (Rhinotermitidae) is a subterranean termite species that causes damage in urban and agricultural areas in the neotropics. Despite its economic importance, there are no studies on its basic biological aspects for laboratory management and the development of strategies for its control. The objective of the present study was to evaluate the relative humidity, temperature, substrate moisture and preference to different wood substrates for the best *C. testaceus* survival under laboratory conditions. For this, a range of eight relative humidity (from 9 to 100%), three temperatures (20, 25 and 30 °C), six substrates (*Pinus* sp, *Cedrela odorata* (L.), *Cocos nucifera* (L.), *Eucalyptus urophylla* (S. T. Blake), *Haematoxylum campechianum* (L.) and *Tabebuia rosea* [Bertol.] DC) and four substrate moistures, (0 to 60%) were tested. The results of this study indicated a significant effect of all factors on termite survival or termite preference. When tested independently, the highest survival percentage of *C. testaceus* was obtained with humidity of 100%, temperature of 20 °C, substrate moisture of 60% and the *Eucalyptus urophylla* substrate, reaching 83.33% survival at 21 days of observation. With these preliminary assays on small termite groups, it is concluded that with the appropriate percentages of humidity, temperature and substrate and the interaction of these three factors, further research can be conducted using larger termite groups in biologically relevant conditions, in order to study various aspects of *C. testaceus* biology.

Introduction

Coptotermes Wasmann (Isoptera: Rhinotermitidae), is a genus of subterranean termites that currently has 21 validated species (Chouvenec et al., 2016), of which 16 are classified as pests of economic importance in various parts of the world (Krishna et al., 2013). While only two of these species, *C. formosanus* Shiraki, and *C. gestroi* (Wasmann) have demonstrated remarkable invasive abilities, most *Coptotermes* species still have an economic impact in their native range. *Coptotermes* have the ability to infest live trees, create large,

populous colonies, with extensive foraging abilities, which can reach more than 100 m of underground galleries (Greaves, 1962; King & Spink, 1969; Su & Scheffrahn, 1988). *Coptotermestestaceus* (L.) is the only endemic *Coptotermes* species in the new world and is established throughout most of the neotropics (Scheffrahn et al., 2015; Chouvenec et al., 2016). This species has been found affecting plantations of forest importance such as rubber (*Hevea brasiliensis* [Willd. ex A.Juss.] Müll.Arg.) (Apolinário & Martius, 2004; Krishna et al., 2013) and eucalyptus (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake) (Santos et al., 1990; Amaral-Castro et al., 2004); agricultural crops



such as cassava (*Manihot esculenta* C.), cocoa (*Theobromacacao* L.) and sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) (Krishnaet al., 2013); and wooden constructions in urban areas (Bandeira et al., 1989). In Mexico, the *C. testaceus* population represents the northern most distribution of the species (Light, 1933; Sheffrahn et al., 2015) and was reported to have an agricultural impact, damaging roots and stems of crops of economic, social and cultural importance (López-Vera et al., 2018; Capetillo-Concepción et al., 2019).

Due to the economic importance of *C. testaceus* as a pest, it is necessary to find strategies for its control. However, to date, the environmental requirements to keep populations alive for prolonged periods of *C. testaceus* in the laboratory that allow the establishment of bioassays to evaluate their control, have not been reported. On the other hand, there is a continuous search for friendly alternatives to the environment and human health, for termite control. These studies generally start with laboratory bioassays, for example, the use of target-specific chemicals (baits and termiticides). While a lot of research efforts have been focusing on botanicals (essential oil, seed, bark, leaf, fruit, root, wood, resin) and entomopathogens (fungi, bacteria and nematodes), none has resulted in practical or commercial application (Verma et al., 2009; Chouvenec et al., 2011).

However, achieving the establishment of live subterranean termite colonies in the laboratory is logistically complicated, time consuming and challenging (Chouvenec, 2018), due to factors such as temperature (Fei & Henderson, 2002; Nakayama et al., 2004; Gautam & Henderson, 2011; Wiltz, 2012), humidity (Nakayama et al., 2004; Wong & Lee, 2010; Gautam & Henderson, 2011; Wiltz, 2012) and the food source (Smythe & Carter, 1969; Su & Tamashiro, 1986). Particularly, desiccation is determining factor for termite survival, so it is important that in laboratory survival studies, not only relative humidity is considered, but also the substrate moisture and food (Hu et al., 2012; Zukowski & Su, 2017).

In order to provide preliminary information of the basic biological requirements for the survival and maintenance of *C. testaceus* in laboratory conditions, the aim of this study was to evaluate the survival of *C. testaceus* at various levels of relative humidity, temperature, substrate moisture, and preference for different substrates, to obtain the appropriate conditions that allow establishing live termite colonies in the laboratory, to ultimately carry out bioassays to study the control of *C. testaceus*.

Materials and methods

Obtaining *C. testaceus*

The specimens were collected in the botanical garden of the Academic Division of Biological Sciences of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Traps (modified from Tamashiro et al., 1973) built with a metal cylinder (18.5 cm high x 15.5 cm in diameter) with exposed ends and internal

walls lined with wood were used, a roll of corrugated paper 10 cm in diameter was placed in the center. The trap was placed in the basal part of trees that had damage caused by *C. testaceus*, buried in the ground 20 cm deep with the top of the trap covered. The corrugated paper cylinder with termites was removed after five days and transferred to the laboratory. In this study only workers were used of a single colony (a total of 1740).

C. testaceus survival at different percentages of relative humidity (RH) and temperatures

The methodology for this section was proposed by Zukowski and Su (2017), with modifications. Environmental chambers (EC) were conditioned using plastic containers with lid (24.7 × 17 × 6.4 cm), with a 2.7 cm diameter hole in the central part of the lid to introduce a digital hydrometer. The RH inside the EC was stabilized using various stabilizing materials (RHSM) in different amounts (Table 1). To achieve a high RH, the water was placed in plastic containers (6 cm diameter x 3.6 cm height) and cotton, covering the bottom of the EC; the salts and the silica gel were placed in the plastic containers described above and for the lowest RH, the CaCl₂ was spread at the bottom of the EC. The RH in the EC was assessed for 15 days with a digital hygrometer (VWR; TRACEABLE™). The temperature was stabilized at 20, 25 and 30 °C in an incubator (NOVATECH, MOD. DBO-200).

The bioassay was carried out using five Petri dishes in each stabilized EC, the Petri dishes (60 mm x 15 mm) contained a filter paper disk (60 mm) to facilitate locomotion of the termites and as a source of food was pine sawdust (200 mg), 10 termite workers were placed in each box. The daily record of live termites was monitored, reporting the survival percentage. Dead termites were removed daily. The bioassay required five repetitions with ten workers in each repetition for the eight RH at the three temperatures tested (a total of 1,200 workers).

Table 1. RHSM and amounts used to obtain different RH.

	RHSM	Formule	Amount	RH obtained (%) ^a
Water, in cotton		H ₂ O	200 ml	100 ± 0.25
Water		H ₂ O	100 ml	83.25 ± 0.55
Undiluted salt		Mg(NO ₃) ₂	100 g	75.28 ± 0.77
Saturated saline solution		NaCl	100 ml	64.88 ± 0.59
Silica gel		Silica gel	100 g	61.12 ± 0.83
Saturated saline solution		MgCl ₂	50 ml	42.98 ± 2.43
Undiluted salt		CaCl ₂	100 g	23.88 ± 1.55
Undiluted salt		CaCl ₂	300 g	9.89 ± 0.11

^aMean (M) ± Standard Error (SE). n = 18.

C. testaceus preference towards different substrates (woods)

Sawdust from pine (*Pinus* sp.), cedar (*Cedrela odorata* L.), coconut fiber (*Cocos nucifera* L.), eucalyptus (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake), blackwood (*Haematoxylum campechianum* L.) and pink poui (*Tabebuia rosea* [Bertol.] DC) were used with a homogeneous particle size (sieve No. 16, 1.13 mm spacing). They were dehydrated in a drying oven (Felisa® Brand) at 50 °C for 24 h and stored in a desiccator with dehydrator until use for bioassays.

A device was designed to allow a high RH and for termites to choose between different substrates (Fig 1). Small environmental chambers (sEC) were used, which consisted of 8 x 5.5 cm (diameter x height) circular plastic containers, which inside contained plastic vials of 4 x 2 cm, suspended inside each sEC. Cotton was placed at the bottom of each radial sEC with water to obtain the RH of 100% and the substrates were placed in the vials (Fig 1a). Using 6 x 1 cm plastic tubes, six radial sEC were connected to a central chamber. The device was placed in the incubator at 20 °C and the RH and temperature were stabilized for 4 h. Once the RH and temperature had stabilized, 30 termites were deposited in the central chamber and at 24 h the number of termites within each sEC with substrate was recorded, the termites found in the connection tubes were also included in the counts. The aggregation of termites to substrates was considered as preference. The RH and temperature were monitored during the bioassay and the percentage of preference was reported. The bioassay required ten repetitions with 30 workers in each repetition (a total of 300 workers).

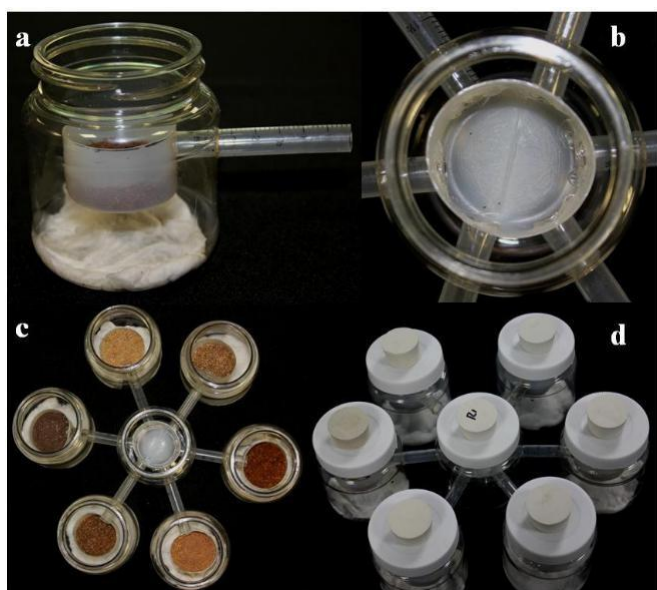


Fig 1. Device for high RH and preference of termites towards different substrates. a) Radial small environmental chamber, with suspended vial; b) Central chamber for release of termites with vial connected to six radial small environmental chambers; c) device with the six substrates for multiple choice; d) device with modified caps for HR monitoring.

Survival of *C. testaceus* at different substrate moisture

The most preferred substrate previously conditioned was used. In Petri dishes (60 mm x 15 mm) 3 g of the substrate were placed and sterile distilled water was used to obtain substrate moistures (SH) of 0, 20, 40 and 60%. The formula used to obtain the desired SH (NMX-AA-16-1984) was as follows: $H = \frac{G - G1}{100} \times 100$

G

Where: H = % of humidity

G = Wet sample weight in g

G1 = Dry sample weight in g

Six Petri dishes were placed in environmental chambers (used in the survival test at different RH and temperature) with the stabilized RH of $100 \pm 0.25\%$ (Fig 2a). Groups of ten termites were placed in each Petri dish with the substrate at the required humidity (Fig 2b). This bioassay was incubated at 20 °C in total darkness. The daily count of living termites was recorded, and the survival (percentage of live termites) was reported. The bioassay required six repetitions with ten workers in each repetition for the four SH evaluated (in total 240 workers).

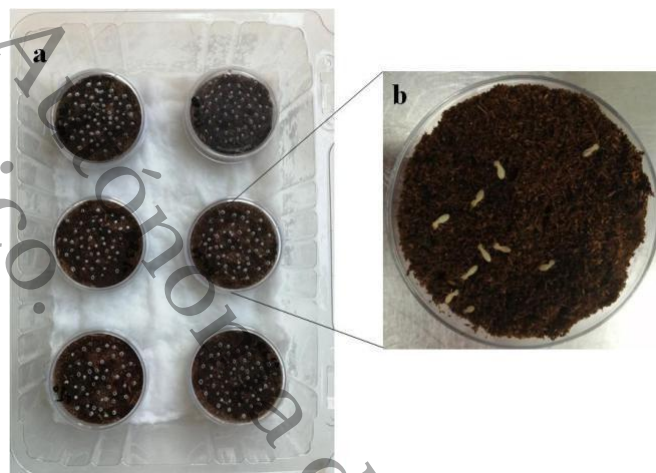


Fig 2. a) Petri dishes in environmental chambers with the stabilized RH of $100 \pm 0.25\%$; b) Group of ten termites placed in the Petri dish with the substrate at the required humidity.

Experimental design and statistical analysis

For all bioassays, a completely randomized simple design was used. The statistical analysis used for the termite survival test at different RHs and temperatures was an analysis of variance (ANOVA) for an 8 by 3 factorial experimental design (8 RHs and 3 temperatures), the response variable was the percentage of survival. Statistical analysis for preference towards different substrates was performed with a simple analysis of variance (ANOVA) and the percentage of preference as the response variable. A comparison of means with Fisher's LSD with $\alpha = 0.05$ was performed for these two trials. Finally, for the survival of termites towards different SH, a Kaplan-Meier LogRank analysis and the comparison of Holm Sidak means with an $\alpha = 0.05$ were used, where the

highest median lethal time (LT₅₀) was considered to select the best treatment. Because the results of the first two trials were expressed as a percentage, it was necessary to transform the data to the square root of the arcsine prior to ANOVA. The statistical package used for all analyzes was SigmaPlot 12.0.

Results

C. testaceus survival at various RH levels and temperatures

Table 2 shows the survival rate of *C. testaceus* 24 hours after being exposed to eight RH and three temperatures. The RH of 100% presents the highest percentage of survival at 24 hours of observation for the three temperatures evaluated (F = 109,313; df = 7; P <0.001). There was a greater survival of termites at a temperature of 20 °C (F = 192,213; df = 2; P < 0.001). On the other hand, the interaction between the two studied factors, in the same way, generated a significant effect (F = 7,885; df = 14; p < 0.001), being the combination of 20 °C and 100% RH the treatment that provided the highest termite survival, with 88.4 ± 0.07%. Likewise, it was observed that as

the RH decreases, the termite survival also does it gradually, while at higher temperatures, it's a lower survival.

C. testaceus preference for various substrates (woods)

Termites showed a statistically different response in their aggregation toward a substrate after 24 hours of observation (F = 4,630; df = 5; p < 0.001, Fisher's LSD α = 0.05). The most preferentially aggregated on eucalyptus, with 68.75%, followed by blackwood with 12.5% and pine with 10%. The substrates that obtained the lowest preferences were coconut fiber, pink poui and cedar, with 4.38, 4.37 and 0.0% respectively (Fig 3).

Survival of C. testaceus at different substrate moisture (SH)

The four SHs showed a significant difference (Statistic = 385,312; df = 3; P < 0.001) with respect to *C. testaceus* survival during the bioassay. The SH of 60% obtained the highest survival, a LT₅₀ value was not recorded, because after 21 days of the bioassay the percentage of live termites was 83% (LT₅₀ > 21 days). The SH of 40%, 20% and 0% obtained a LT₅₀ of 21, 13 and 1 days, respectively (Fig 4).

Table 2. Percentage of survival (M ± SE) of *Coptotermes testaceus* 24 hours after being exposed to eight RHs and three temperatures. n = 5.

T°C	RH ^a							
	H ₂ O	H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂	NaCl	SÍL GEL	MgCl ₂	CaCl ₂	CaCl ₂
	(100 ± 0.3%)	(83.25 ± 0.5%)	(75.28 ± 0.8%)	(64.88 ± 2.5%)	(61.12 ± 3.5%)	(42.98 ± 2.4%)	(23.88 ± 0.4%)	(9.89 ± 0.1%)
20	88.4 ± 0.07Aa	71.8 ± 0.07Ab	70.5 ± 0.07Ab	69.8 ± 0.07Ab	39.6 ± 0.07Ac	31.5 ± 0.07Acd	31.5 ± 0.07Acd	20.7 ± 0.07Ad
25	74.7 ± 0.06Ba	59.5 ± 0.06Ab	9.3 ± 0.06Bc	9.3 ± 0.06Bc	6.7 ± 0.06Bc	0.0 ± 0.0Bc	0.0 ± 0.0Bc	0.0 ± 0.0Bc
30	74.7 ± 0.05Ba	23.2 ± 0.05Bb	13.9 ± 0.06Bbc	9.26 ± 0.05Bcd	4.63 ± 0.05Bcd	0.0 ± 0.0Bd	0.0 ± 0.0Bd	0.0 ± 0.0Bd

^aDifferent lowercase letters within a row or different uppercase letters within a column indicate significant differences between Means.

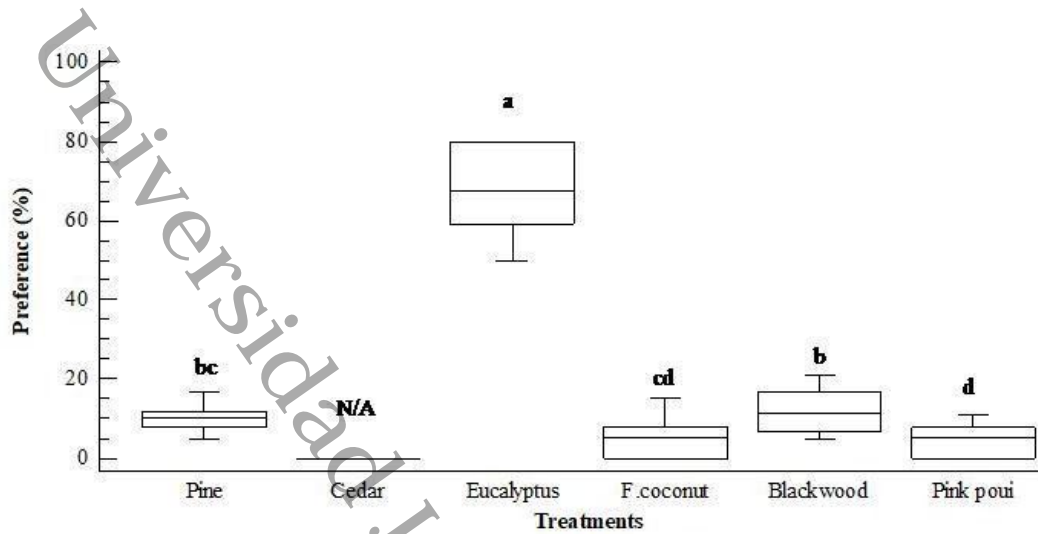


Fig 3. Percentage of preference of *Coptotermes testaceus* workers 24 hours after being exposed to six substrates (woods), at an RH of 100% and a temperature of 20 °C, n = 10. Different letters indicate significant differences between treatments.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

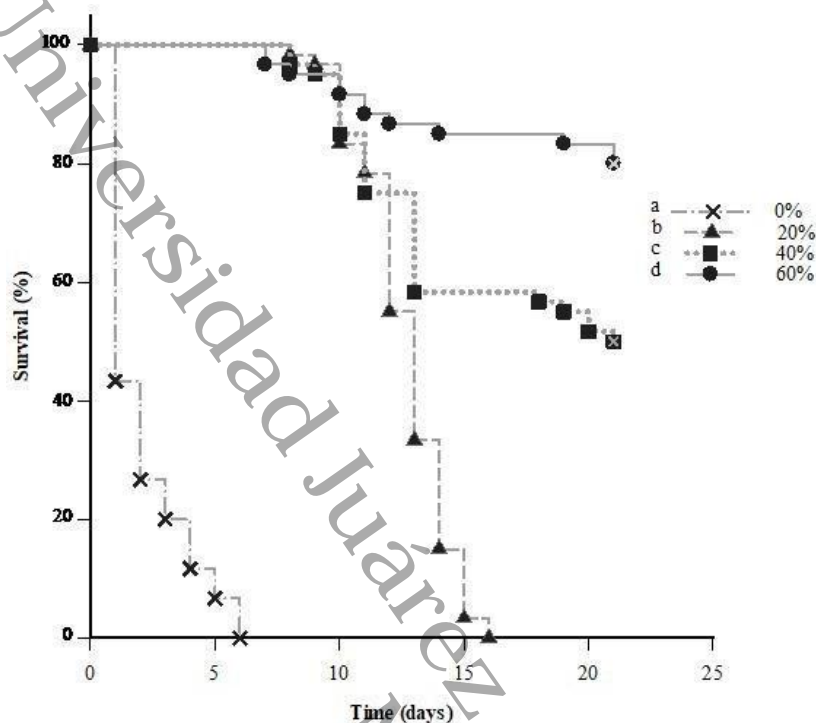


Fig 4. Percentage of survival of *Coptotermes testaceus* workers after being exposed to four substrate moistures (0%, 20%, 40% and 60%) at 20 °C and 100% RH, n = 6. Different letters on substrate moisture indicate significant differences (Holm Sidak, $\alpha = 0.05$).

Discussion

The results of this study showed that the highest survival (88.4%) of *C. testaceus* was at 100% RH and temperature of 20 °C. This shows that both RH and temperature are important for the survival of *C. testaceus*, but they are even more so when the interaction between these factors occurs. This agrees with that reported by Gautam and Henderson (2011) as well as Wiltz (2012), who found the highest survival percentages for *C. formosanus* at low temperatures (20 and 10 °C) and high RH (98 and 99%) respectively. The results of this study show an effect of RH and temperature, however, these two factors alone cannot maintain the *in vitro* survival for long periods of time (24 h for this study), which is necessary for studies focusing on control aspects of this pest.

Lenz (2005) points to substrate as another factor that must be considered to obtain successful results in bioassays. The substrate can be used for the construction of their galleries, food or as indicated by Hu et al. (2012) and Zukowski and Su (2017), a resource for obtaining moisture. That is why, in this study, the preference that *C. testaceus* had towards six different woods that could function as a substrate was also evaluated. The results obtained in this work indicated that eucalyptus was the substrate with the greatest choice. This coincides with studies carried out in

agricultural systems where it was reported that *C. testaceus* was the main responsible for infestations in eucalyptus plantations (Amaral et al., 2004). This could be due to the fact that, as Zabel and Morrel (1992) points out, the different kinds of wood have the presence of extractable (chemicals). The part of the wood in which the extractables are produced is what determines if they play a role as attractants or repellents, i.e. in the sapwood, there is a higher concentration of starch and carbohydrates which makes this part of the wood more palatable to the biological agents that attack it. On the other hand, the heartwood has a series of components that make it less preferred to these agents (Kollmann, 1959). This leads us to think that eucalyptus was the most attractive substrate due to its chemical composition, in addition to cellulose, which is the main food source of xylophagous insects, such as termites (Bignell & Eggleton, 2000; Ramírez & Lanfranco, 2001; Shimada & Maekawa, 2010). This coincides with that reported by Scheffrahn (1991), who likewise attributes the preference of termites to this type of (extractable) substances.

Finally, and once the most preferred substrate was identified, different humidity levels were evaluated in this substrate. McManamy et al. (2008) pointed out that the humidity of the substrate is an important factor for the prolonged survival of species of subterranean termites, this due to the fact that after subjecting *Reticulitermes flavipes* (Kollar) (Isoptera: Rhinotermitidae) to ideal conditions of temperature and RH, but exposed to low moisture wood,

the termites did not survive. Our results indicated that the humidity of the substrate of 60% (the highest tested), was the one with which the longest survival time of the termite (21 days) was reached, reaching 83.33% of live insects at the end of this time. This coincides with that reported by Zukowski and Su (2017) for the termite species *C. formosanus*, which, after three weeks of observation (21 days), reached 90% survival with wet food, but when the food source provided was dry, survival was 0%. These results lead us to agree with what was pointed out by Gautam and Henderson (2014), who pointed out that subterranean termite species are extremely susceptible to desiccation, therefore, they require not only high RH, but also other sources of humidity for its greatest survival.

At a global level, although studies of this type were conducted on pest species of subterranean termites (Rhinotermitidae), the current study provides preliminary information on optimal experimental and rearing conditions in the laboratory for *C. testaceus*. As previously shown, the importance of the biological relevancy of a bioassay when testing control method against subterranean termites in laboratory conditions is critical (Su, 2005; Chouvenc, 2018), to study the applicability of such approach in a field situation. The current study therefore provides initial guidelines for the manipulation of *C. testaceus* in the laboratory, thus being able to carry out future studies aimed at testing control approach for this species.

Acknowledgments

Cordial thanks to the editor and referees for their reviews and comments on our manuscript. To the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, for facilitating access to the laboratories, materials, and equipment of the Academic Division of Biological Sciences (DacBiol), the Academic Division of Agricultural Sciences (DACA), the Academic Division of Multidisciplinary of Jalpa de Mendez (DAMJM). To the National Council of Science and Technology (CONACYT) of Mexico for the scholarship awarded to carry out this study.

Contribution of the authors

CO Pozo-Santiago, conception, design, data collection, analysis, interpretation of results and document writing; M Pérez-De la Cruz, conception, design, critical review for important intellectual content, interpretation of results and final approval of the version to be published; JR Velázquez-Martínez, conception, design, critical review for important intellectual content, interpretation of results and final approval of the version to be published; M Torres-De la Cruz, design, critical review for important intellectual content, interpretation of results and final approval of the version to be published; A De la Cruz-Pérez, design, critical review for important intellectual content, and final approval of the version to be published; S Capello-García, design, critical review for important intellectual content, and final approval

of the version to be published; MA Hernández-Gallegos, critical review for important intellectual content, and final approval of the version to be published.

References

- Amaral-Castro, N.R., Zanetti, R., Moraes, J.C., Zanuncio, J.C., Freitas, G.D. & Santos, M.S. (2004). Species of soil inhabiting termites (Insecta: Isoptera) collected in Eucalyptus plantations in the state of Minas Gerais, Brazil. *Sociobiology*, 44: 717-726.
- Apolinário, F.E., & Martius, C. (2004). Ecological role of termites (Insecta, Isoptera) in tree trunks in central Amazonian rain forests. *Forest Ecology and Management*, 194: 23-28. doi: 10.1016/j.foreco.2004.01.052.
- Bandeira, A. G., Gomes, I., Lisboa, B., Souza, S. (1989). Insetos pragas de madeiras de edificações em Belém-Pará. Embrapa Amazônia. Oriental-Séries anteriores (INFOTECA-E).
- Bignell, DE & Eggleton, P. (2000). Termites in ecosystems. In T Abe, DE Bignelly, M Higashi (Eds), *Termites: Evolution, sociality, symbioses, ecology* (pp. 363-388). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Capetillo-Concepción, E., Pérez-De La Cruz, M., De La Cruz-Pérez, A. and Magaña-Alejandro, M.A. (2019). Hospederos, infestación y distribución de *Coptotermes testaceus* (Linnaeus) (Blattodea: Rhinotermitidae) en áreas forestales de Tabasco, México. *Revista Chilena de Entomología*, 45: 533-543. doi: 10.35249/rche.45.4.19.04.
- Chouvenc, T. (2018). Comparative impact of chitin synthesis inhibitor baits and non-repellent liquid termiticides on subterranean termite colonies over foraging distances: colony elimination versus localized termite exclusion. *Journal of Economic Entomology*, 111: 2317-2328. doi: 10.1093/jee/toy210.
- Chouvenc, T., Li, H. F., Austin, J., Bordereau, C., Bourguignon, T., Cameron, S. L. et al. (2016). Revisiting *Coptotermes* (Isoptera: Rhinotermitidae): a global taxonomic road map for species validity and distribution of an economically important subterranean termite genus. *Systematic Entomology*, 41: 299-306. doi: 10.1111/syen.12157.
- Chouvenc, T., Su, N.Y. & Grace, J.K. (2011). Fifty years of attempted biological control of termites—Analysis of a failure. *Biological Control*, 59: 69-82. doi: 10.1016/j.biocontrol.2011.06.015.
- Fei, H. & Henderson, G. (2002) Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) wood consumption and worker survival as affected by temperature and soldier proportion. *Environmental Entomology*, 31: 509-514. doi: 10.1603/0046-225X-31.3.509.
- Gautam, B.K. & Henderson, G. (2014). Water transport by *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Environmental Entomology*, 43: 1399-1405.

- Gautam, B. K. & Henderson, G. (2011). Wood consumption by Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) as affected by wood moisture content and temperature. *Annals of the Entomological Society of America*, 104: 459-464. doi: 10.1603/AN10190.
- Greaves, T., 1962. Studies of foraging galleries and the invasion of living trees by *Coptotermes acinaciformis* and *C. brunneus* (Isoptera). *Australian Journal of Zoology*, 10: 630-651.
- Hu, J., Neoh, K.B., Appel, A.G. & Lee, C.Y. (2012). Subterranean termite open-air foraging and tolerance to desiccation: Comparative water relation of two sympatric *Macrotermes* spp. (Blattodea: Termitidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 161: 201-207. doi: 10.1016/j.cbpa.2011.10.028.
- King Jr, E.G. and Spink, W.T. (1969). Foraging galleries of the Formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus*, in Louisiana. *Annals of the Entomological Society of America*, 62: 536-542.
- Kollmann, F. (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Ministerio de Agricultura, Madrid, España. 675 p.
- Krishna, K., Grimaldi, D.A., Krishna, V. & Engel, M.S. (2013). Treatise on the Isoptera of the World: Vol.1. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 377: 1-200. doi: 10.1206/377.7.
- Lenz, M (2005). Laboratory bioassays with termites—the importance of termite biology. In K Tsunoda (Eds.), *Proceeding the 2^a conference of pacific rim termite research group on wood protection* (pp. 53-60). Bangkok, Thailand.
- Light S.F. (1933). Termites of western Mexico. – University of California Publications in Entomology, 6: 79-152 + plates
- López-Vera, E.E., Hernández-Pérez, L., López-Corzo, A., Sámano-Garduño, D. & Domínguez-Monge, S. (2018). Primer Registro de *Coptotermes testaceus* Afectando Maíz (*Zea mays* L.) en el Estado de Campeche, México. *Southwestern Entomologist*, 43: 811-814. doi: 10.3958/059.043.0330.
- McManamy, K., Koehler, P.G., Branscome, D.D. & Pereira, R.M. (2008). Wood moisture content affects the survival of eastern subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae), under saturated relative humidity conditions. *Sociobiology*, 52: 145-156.
- Nakayama, T., Yoshimura, T. & Imamura, Y. (2004). The optimum temperature–humidity combination for the feeding activities of Japanese subterranean termites. *Journal of Wood Science*, 50: 530-534. doi: 10.1007/s10086-003-0594-y.
- Norma Mexicana NMX-AA-16-1984. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de humedad. URL: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa016.pdf>
- Ramírez, C. & Lanfranco, D. (2001). Descripción de la biología, daño y control de las termitas: especies existentes en Chile. *Bosque*, 22: 77-84. doi: 10.4206/bosque.2001.v22n2-08.
- Santos, G. P., Zanuncio, J. C., Anjos, N. D., & Zanuncio, T. V. (1990). Danos em pavimentos de *Eucalyptus grandis* pelo cupim de cerne *Coptotermes testaceus* Linnée, 1985 (Isoptera: Rhinotermitidae). *Revista Arvore*, 14: 155-163.
- Scheffrahn, R. H. (1991). Allelochemical resistance of woods to termites. *Sociobiology*, 19: 257-281.
- Scheffrahn, R.H., Carrijo, T.F., Křeček, J., Su, N.Y., Szalanski, A.L., Austin, J.W., Chase, J.A. and Mangold, J.R., 2015. A single endemic and three exotic species of the termite genus *Coptotermes* (Isoptera, Rhinotermitidae) in the New World. *Arthropod Systematics and Phylogeny*, 73: 333-348.
- Shimada, K., & Maekawa, K. (2010). Changes in endogenous cellulase gene expression levels and reproductive characteristics of primary and secondary reproductives with colony development of the termite *Reticulitermes speratus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Insect Physiology*, 56: 1118-1124. doi: 10.1016/j.jinsphys.2010.03.011.
- Smythe, R.V. & Carter, F.L. (1969). Feeding responses to sound wood by the eastern subterranean termite *Reticulitermes flavipes*. *Annals of the Entomological Society of America*, 62:335-337. doi: 10.1093/aesa/62.2.335.
- Su, N.Y. & Scheffrahn, R.H. (1988). Foraging population and territory of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in an urban environment. *Sociobiology*, 14: 353-360.
- Su, N.Y. & Tamashiro, M. (1986). Wood-consumption rate and survival of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) when fed one of six woods used commercially in Hawaii. *Hawaiian Entomological Society*, 26, 109-113.
- Su, N.Y. (2005). Response of the Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) to baits or non repellent termiticides in extended foraging arenas. *Journal of Economic Entomology*, 98: 2143-2152.
- Tamashiro, M., Fujii, J.K. & Lai, P.Y. (1973). A simple method to observe, trap, and prepare large numbers of subterranean termites for laboratory and field experiments. *Environmental Entomology*, 2: 721-722. doi: 10.1093/ee/2.4.721
- Verma, M., Sharma, S. & Prasad, R. (2009). Biological alternatives for termite control: a review. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 63: 959-972. doi: 10.1016/j.ibiod.2009.05.009.
- Wiltz, B. (2012). Effect of temperature and humidity on survival of *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology*, 59: 381-394. doi: 10.13102/sociobiology.v59i2.883.
- Wong, N. & Lee, C.Y. (2010). Effects of disturbance and the presence of termite and other invertebrate carcasses

at feeding sites on the behavior of the subterranean termite *Microcerotermes crassus* (Blattodea: Termitidae). *Sociobiology*, 55: 353-368. URL: <http://www.chowyang.com/uploads/2/4/3/5/24359966/119.pdf>.

Zabel, R.A. & Morrell, J.J. (1992). *Wood Microbiology: Decay and Its Prevention*. Academic Press, London, 467 p.

Zukowski, J. & Su, N.Y. (2017). Survival of termites (Isoptera) exposed to various levels of relative humidity (RH) and water availability, and their RH preferences. *Florida Entomologist*, 100: 532-539. doi: 10.1653/024.100.0307.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPITULO 3: El papel de la humedad relativa, temperatura y sustratos en la supervivencia de *Nasutitermes corniger*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

El papel de la humedad relativa, temperatura y sustratos en la supervivencia de *Nasutitermes corniger*

The role of relative humidity, temperature and substrates in the survival of *Nasutitermes corniger*

César Orlando Pozo-Santiago ¹
José Rodolfo Velázquez-Martínez ²
Magdiel Torres-De la Cruz ³
Aracely De la Cruz-Pérez ³
Silvia Capello-García ³
Facundo Sánchez-Gutiérrez ¹
Manuel Pérez-De la Cruz ³

¹ Facultad Maya de Estudios Agropecuarios, Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Catazajá-Palenque, Km 4, CP. 29980. Catazajá, Chiapas, México.

² División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km. 25. Carretera Villahermosa-Teapa. Km 25, CP. 86298. Centro, Tabasco, México.

³ División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas s/n, en-tronque Bosques de Saloya. CP. 86039, Villahermosa, Centro, Tabasco, México.

Autor de correspondencia:
perezmandoc@hotmail.com

Artículo científico

Recibido: 16 de octubre 2020

Aceptado: 11 de diciembre 2020

Como citar: Pozo-Santiago CO, Velázquez-Martínez JR, Torres-De la Cruz M, De la Cruz-Pérez A, Capello-García S, Sánchez-Gutiérrez F, Pérez-De la Cruz M (2020) El papel de la humedad relativa, temperatura y sus-tratos en la supervivencia de *Nasutitermes corniger*. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 7(3): e2742. DOI: 10.19136/era.a7n3.2742

RESUMEN. La especie *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) es una termita arbórea, que causa daño en zonas urbanas y agrícolas. A pesar de su importancia económica, no hay estudios sobre aspectos básicos de su manejo en laboratorio, lo cual sentará las bases para el desarrollo futuro de estrategias de control. El objetivo del estudio fue, evaluar en laboratorio la supervivencia de *N. corniger* a diferentes condiciones de humedad relativa, temperatura, humedad del sustrato y su preferencia a distintos tipos de maderas. Se probaron humedades relativas entre el 9 y 100%, las temperaturas de 20, 25 y 30 °C, seis sustratos: pino, cedro, tinto, eucalipto, macuilis, fibra de coco y cuatro humedades de sustrato de 0 hasta 60%. Los resultados indican efecto significativo en todas las variables medidas. La mayor supervivencia de *N. corniger* se tuvo con la humedad relativa del 100%, temperatura de 20 °C y humedad del sustrato de 60%, mientras que el sustrato de mayor preferencia fue el eucalipto. En los porcentajes adecuados, la interacción de estos tres factores propicia las mejores condiciones para la supervivencia de *N. corniger*.

Palabras clave: Agrícola, arbórea, eucalipto, madera, termita.

ABSTRACT. The species *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) is an arboreal termite, causes damage in urban and agricultural areas. Despite its economic importance, there are no studies on the basic aspects for its management in the laboratory, which will lay the foundations for the future development of control strategies. The objective of the study was to evaluate in the laboratory the survival of *N. corniger* at different conditions of relative humidity, temperature, humidity of the substrate and its preference for different types of wood. Relative humidities were tested between 9 and 100%, temperatures of 20, 25 and 30 °C, six substrates: pine, cedar, pink poui, eucalyptus, macuilis, coconut fiber and four substrate humidities of 0 to 60% were tested. The results indicate a significant effect on all the variables measured. The highest survival of *N. corniger* was had with a relative humidity of 100%, a temperature of 20 °C and a humidity of the substrate of 60%, while the most preferred substrate was eucalyptus. In the appropriate percentages, the interaction of these three factors provides the best conditions for the survival of *N. corniger*.

Key words: Agricultural, arboreal, eucalyptus, wood, termite.

INTRODUCCIÓN

La termita arbórea *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) (Isoptera: Termitidae) es una especie neotropical. Su distribución abarca desde el sureste de México hasta el noreste de Argentina e islas del Caribe, considerándose en estos últimos especie nativa. Pero actualmente también se encuentra como especie invasora en las Bahamas, Florida y Nueva Guinea (Boulogne et al. 2017, de Faria et al. 2017). *N. corniger* también se ha adaptado bien al ambiente urbano, dentro de las especies de su género, es la de mayor importancia económica en zonas urbanas (Santos et al. 2020), mientras que en el sector agrícola se ha reportado atacando cultivos como caña de azúcar, arroz, frutales y eucalipto; dañando hojas, tallo o tejido leñoso (Boulogne et al. 2017). Al respecto, en México, se reportan seis especies del género *Nasutitermes* de las cuales *N. corniger* y *N. nigriceps* están presentes en el estado de Tabasco (Cancelló y Myles 2000).

Debido a la importancia económica de *N. corniger*, es necesario buscar estrategias para su control, pero a la fecha no se tienen estudios sobre los requerimientos ambientales para establecer colonias vivas en laboratorio por periodos prolongados de tiempo. Las colonias vivas en laboratorio son indispensables para la realización de bioensayos enfocados a la búsqueda de alternativas para su control (Pozo-Santiago et al. 2020). Los estudios que existen de este tipo han centrado su atención en especies de termitas subterráneas (Cao y Su 2015, Zukowski y Su 2017). Por otro lado, hay una búsqueda continua de alternativas amigables con el ambiente y salud humana, para el control de termitas, pero hasta el momento, ninguna ha resultado en una aplicación práctica o comercial (Verma et al. 2009, Chouvenc et al. 2011). Los estudios para buscar alternativas de control de termitas generalmente comienzan con bioensayos de laboratorio (Henderson et al. 2016, Chouvenc 2018, Kakkar y Su 2018, Santos et al. 2020). Pero establecer colonias vivas de termitas en laboratorio es una tarea complicada, debido a factores como temperatura (Fei y Henderson 2002, Nakayama et al. 2004, Wiltz 2012),

humedad (Wong y Lee 2010, Gautam y Henderson 2011, Wiltz 2012) y la fuente de alimento (Smythe y Carter 1969, Su y Tamashiro 1986) pueden afectar la supervivencia de termitas durante su manejo. Al respecto Zukowski y Su (2017), señalan que la desecación es otro problema común que enfrentan las termitas, por lo que deben ubicar y utilizar los recursos hídricos disponibles en la humedad relativa, humedad del sustrato y alimento para prevenir o tolerar la pérdida de agua. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio fue evaluar en condiciones de laboratorio la supervivencia de *N. corniger* en varios niveles de humedad relativa, temperatura, humedad del sustrato y preferencia a distintas maderas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de N. corniger

Se empleó un total de 1 740 termitas, colectadas del jardín botánico de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, para obtenerlas se tomó una porción de un termitero arbóreo y se transfirió al laboratorio, donde sólo se seleccionaron obreras.

Supervivencia de N. corniger a diferentes humedades relativas (HR) y temperaturas

La metodología empleada fue la propuesta por Pozo-Santiago et al. (2020), para lo cual se elaboraron cámaras ambientales (CA) con recipientes de plástico con tapa (24.7 x 17 x 6.4 cm), con un orificio de 2.7 cm de diámetro en la parte central de la tapa para introducir un hidrómetro digital. La HR dentro de la CA se estabilizó utilizando diversos materiales (MSHR) en diferentes cantidades (Tabla 1). Para lograr las HR altas, se colocó agua en un algodón (con el cual se cubrió el fondo de la CA) y en recipientes de plástico de 6 cm de diámetro x 3.6 cm de altura. Las sales y el gel de sílice se colocaron en los recipientes de plástico de las CA. Para las HR bajas se utilizó CaCl₂ que se extendió en el fondo de la CA. La HR en la CA se evaluó durante 15 días con un higrómetro digital (VWR, TRACEABLE™). La temperatura se estabilizó a 20, 25 y 30 °C en una incubadora (NO-VATECH, MOD. DBO-200).

Tabla 1. Materiales estabilizadores y cantidades empleadas para la obtención de las humedades relativas.

N	MEHR	Fórmula	Cantidad	HR obtenida (%) ^a
1	Agua	H ₂ O	200 mL	100 ± 0.25
2	Agua	H ₂ O	100mL	83.25 ± 0.55
3	Sal sin diluir	Mg(NO ₃) ₂	100g	75.28 ± 0.77
4	Solución salina saturada	NaCl	100 mL	64.88 ± 0.59
5	Sílica gel	Sílica gel	100g	61.12 ± 0.83
6	Solución salina saturada	MgCl ₂	50 mL	42.98 ± 0.57
7	Sal sin diluir	CaCl ₂	100g	23.88 ± 0.36
8	Sal sin diluir	CaCl ₂	300g	9.89 ± 0.11

^aPromedio (PROM) error estándar (SE). n = 18.

El bioensayo se realizó utilizando cinco placas Petri para cada CA estabilizada, las placas Petri de 60 mm x 15 mm contenían en la base papel filtro con aserrín de pino (200 mg) como fuente de alimento, en las que se colocaron 10 termitas. Durante tres días (24, 48 y 72 h) se realizó el registro de termitas vivas, para reportar la variable porcentaje de supervivencia. En el bioensayo se ocuparon un total de 1 200 obreras, distribuidas en cinco repeticiones con 10 obreras en cada repetición para los ocho tratamientos (RHs) a las tres temperaturas probadas.

Preferencia de *N. corniger* hacia distintos sustratos (maderas)

Se diseñó un dispositivo de elección múltiple (DEM) que permitiera una alta HR y elegir a las termitas entre diferentes sustratos. Para ello, se usaron cámaras ambientales pequeñas (CAp), que consistieron en recipientes de plástico circulares de 8.0 x 5.5 cm (diámetro x altura), los cuales en su interior contenían viales de plástico de 4.0 x 2.0 cm, suspendidos dentro de cada CAp. Para obtener una HR del 100%, se colocó algodón con agua en la parte inferior de cada CAp radial, esta humedad fue monitoreada durante el bioensayo. En los viales se colocaron los sustratos, los cuales consistieron en aserrín de Pino (*Pinus* sp.), Cedro (*Cedrela odorata* L.), Fibra de coco (*Cocos nucifera* L.), Eucalipto (*Eucalyptus urophylla* ST Blake), Tinto (*Haematoxylum campechianum* L.) y Maculís (*Tabebuia rosea* [Bertol.] DC), todos con un tamaño de partícula de 1.13 mm y deshidratados previo a su utilización en un horno de secado (marca Felisa[®]) a 50 °C durante 24 h. Con tubos de plástico de 6.0 x 1.0 cm, se conectaron seis CAp radiales a

una cámara central, en la cual se liberaron 30 termitas, con opción de elegir entre cualquiera de los seis sustratos. El dispositivo se colocó en una incubadora a 20 C y en total oscuridad. Transcurridas 24 h se registró el número de termitas dentro de cada CAp con sustrato, considerando de igual manera aquellas termitas encontradas en los tubos de conexión. La variable de respuesta fue el porcentaje de preferencia. Este bioensayo se ocupó un total de 300 obreras, distribuidas en diez repeticiones con 30 obreras en cada DEM.

Supervivencia de *N. corniger* a diferentes humedades de sustrato (HS)

Se usó el sustrato de mayor preferencia previamente acondicionado. En placas Petri de 60 x 15 mm se colocó 3 g de sustrato y se usó agua destilada estéril (ADE) para obtener HS de 0, 20, 40 y 60%. Para el cálculo de las humedades, se usó la fórmula reportada por la Norma NMX-AA-16-1984.

$$H = \frac{G - G1}{G} \times 100$$

Donde: H = % de humedad, G = Peso de la muestra húmeda en g, G1 = Peso de la muestra seca en g.

El PROM SE de las HS y la cantidad en ml de ADE necesaria para alcanzarla fueron las siguientes (n = 6): 60.95±0.38% (5mL ADE), 39.61±0.08% (2mL ADE), 19.82±0.23% (0.75 mL), y 0.00±0.00% (sin ADE).

Se colocaron seis placas Petri en CA, utilizadas en la prueba de supervivencia a diferentes HR y temperatura, con HR estabilizada de 100±0.25%. En las que se colocaron diez termitas en ca

da placa Petri con el sustrato a la humedad requerida. Este bioensayo se incubó a 20 °C en oscuridad total durante 21 días, se realizó el recuento diario (24 h) de termitas vivas y se reportó la supervivencia basada en el tiempo letal medio (TL₅₀). En el bioensayo se ocuparon 240 obreras, distribuidas en seis repeticiones con diez obreras en cada repetición para las cuatro HS evaluadas (tratamientos).

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para todos los bioensayos, se utilizó un diseño completamente al azar. El análisis estadístico utilizado para la prueba de supervivencia de termitas a diferentes HR y temperaturas fue un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño experimental factorial de 8 por 3 (8 HR y 3 temperaturas), la variable de respuesta fue el porcentaje de supervivencia. El análisis estadístico de preferencia hacia diferentes sustratos se realizó con un análisis simple de varianza (ANOVA) y el porcentaje de preferencia como la variable de respuesta. Se realizó una comparación de medias con LSD de Fisher con un $\alpha = 0.05$ para estos dos ensayos. Mientras que la supervivencia de las termitas a las diferentes HS, se evaluó mediante análisis Kaplan-Meier y la comparación de las medias de Holm Sidak con $\alpha = 0.05$, donde se tuvo en cuenta el mayor tiempo letal medio (TL₅₀) para seleccionar el mejor tratamiento. Debido a que los resultados de los dos primeros ensayos se expresaron como porcentaje, previo al ANOVA se transformaron los datos a la raíz cuadrada del arcoseno. Los análisis se realizaron con el programa SigmaPlot 12.0.

RESULTADOS

Supervivencia de *N. corniger* a diferentes HRs y temperaturas

La Tabla 2 muestra los porcentajes de supervivencia de *N. corniger* a las 24, 48 y 72 h de estar expuesta a ocho HR y tres temperaturas. La HR del 100% presentó el mayor porcentaje de supervivencia a las 24 h ($F = 131.800$, $df = 7$, $p < 0.001$), 48 ($F = 128.188$, $df = 7$, $p < 0.001$) y 72 ($F = 13.440$, $df = 7$,

$p < 0.001$) horas de observación para las tres temperaturas evaluadas. Hubo una mayor supervivencia de las termitas a temperatura de 20 °C a las 24 h ($F = 98.836$, $df = 2$, $p < 0.001$), 48 ($F = 77.393$, $df = 2$, $p < 0.001$) y 72 ($F = 1.061$, $df = 2$, $p = 0.350$). Por otro lado, la interacción entre los dos factores estudiados, de la misma manera, generó un efecto significativo a las 24 h ($F = 4.805$, $df = 14$, $p < 0.001$) y 48 ($F = 14.429$, $df = 14$, $p < 0.001$), siendo la combinación de 20 °C y 100% HR el tratamiento que proporcionó la mayor supervivencia de termitas con 97.98 ± 1.62 y $89.86 \pm 1.44\%$, respectivamente. Mientras que a las 78 h esta misma combinación fue la que tuvo el mejor resultado, pero al compararlo con los otros dos tiempos, se tuvo un decremento en la supervivencia de termitas con un $54.09 \pm 6.76\%$ ($F = 0.780$, $df = 14$, $p = 0.688$). Del mismo modo, se observó que a medida que la HR disminuye, la supervivencia de las termitas también lo hace gradualmente, mientras que a temperaturas más altas, hubo menor supervivencia.

Preferencia de *N. corniger* a diferentes sustratos (maderas)

Las termitas mostraron respuesta a los sustratos estadísticamente diferente después de 24 h de observación ($F = 5.171$, $df = 5$, $p < 0.001$, LSD de Fisher $\alpha = 0.05$). El sustrato de mayor preferencia fue el eucalipto con un 49.33%, seguido de macuilís con 20.67%, los sustratos que tuvieron las preferencias más bajas fueron, tinto, fibra de coco, pino y ce-dro, con 13.67, 11.33, 4.0 y 1.0%, respectivamente (Figura 1).

Supervivencia de *N. corniger* a diferentes humedades de sustrato (HS)

Las cuatro humedades de sustrato mostraron una diferencia significativa (Statistic = 295.904, df_3 , $p < 0.001$) con respecto a la supervivencia de *N. corniger* durante el ensayo. La HS del $60.95 \pm 0.38\%$ fue la que obtuvo la mayor supervivencia, con un TL₅₀ de 15 días, seguido de 39.61 ± 0.08 y $19.82 \pm 0.23\%$ y 00.0% con un TL₅₀ de 10.6 y 2 días, respectivamente (Figura 2).

Tabla 2. Porcentaje de supervivencia (PROM SE) de *N. corniger* a las 24, 48 y 72 horas de haber sido expuesta a ocho HRs y tres temperaturas. n = 5.

T C	HR							
	H ₂ O (100 0.25)	H ₂ O (83.25 0.55)	Mg(NO ₃) ₂ (75.28 0.77)	NCI (64.88 2.5)	SIL GEL (61.12 3.54)	MgCl ₂ (42.98 2.43)	CaCl ₂ (23.88 0.36)	CaCl ₂ (9.89 0.11)
24 h								
20	97.98 1.62Aa	85.42 1.62Ab	70.53 1.62Ab	79.44 1.62Ac	55.11 1.62Ad	57.70 1.62Ad	31.68 1.62Ae	17.31 1.62Af
25	90.50 1.81Ba	82.24 1.81ABa	63.04 1.81Bb	61.59 1.81Bb	34.13 1.81Bc	00.00 0.00Bd	00.00 0.00Bd	00.00 0.00Bd
30	86.37 2.88Ba	71.52 2.88 Bb	63.04 2.88Bb	32.68 2.88Cc	28.04 2.88Bc	00.00 0.00Bd	00.00 0.00Bd	00.00 0.00Bd
48 h								
20	89.86 1.44 Aa	75.03 1.44 Ab	45.94 1.44 Ac	44.89 1.44 Ac	17.48 1.44 Ad	00.00 0.00 Ae	00.00 0.00 Ae	00.00 0.00 Ae
25	73.98 1.47 Ba	27.01 1.47 Bb	45.61 1.47 Ac	00.00 0.00 Bd	4.50 1.47 Bd	00.00 0.00 Ad	00.00 0.00 Ad	00.00 0.00 Ad
30	72.00 1.46 Ba	00.00 0.00 Cb	00.00 0.00 Bb	00.00 0.00 Bb	00.00 0.00 Bb	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab
72 h								
20	54.09 6.76 Aa	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab
25	48 2.18 Aa	6.85 2.18 Ab	00.00 0.00 Ac	00.00 0.00 Ac	00.00 0.00 Ac	00.00 0.00 Ac	00.00 0.00 Ac	00.00 0.00 Ac
30	34.01 1.70 Ba	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab	00.00 0.00 Ab

*Letras minúsculas diferentes dentro de una fila o letras mayúsculas diferentes dentro de una columna indican diferencias significativas entre medias.

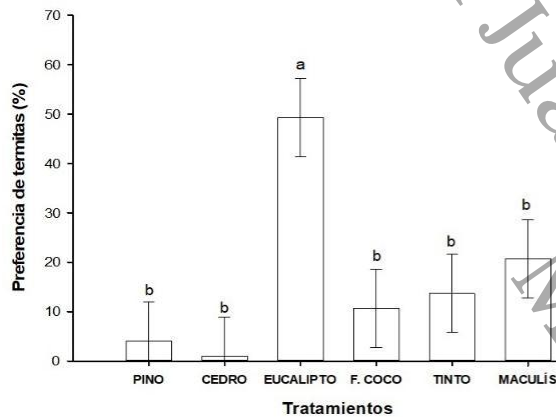


Figura 1. Porcentaje de preferencia de obreras de *N. corniger* (PROM SE) a las 24 horas de haber sido expuestas a seis sustratos (maderas), a una HR de 100% y temperatura de 20 °C. n = 10. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos.

DISCUSIÓN

La HR y la temperatura son importantes para la supervivencia de termitas. Al respecto, Pervez (2018) indica que por sí solos, la temperatura y humedad son factores abióticos importantes en la biología de las termitas, cómo su supervivencia, crecimiento, desarrollo y reproducción. Lo mismo fue encontrado por, Cao y Su (2015) al evaluar diferentes temperaturas y Zukowski y Su (2017) al evaluar diferentes humedades relativas, ambos trabajos en especies de termitas de la familia Rhinotermitidae, concluyendo que estos factores son importantes en la supervivencia o búsqueda de alimento de estas especies. Al respecto, en esta investigación se observó

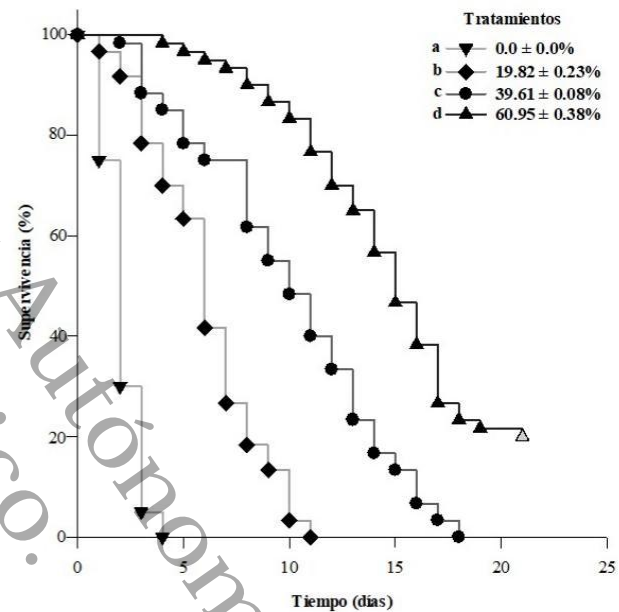


Figura 2. Supervivencia (%) de obreras de *N. corniger* después de ser expuestas a cuatro humedades del sustrato, a 20 °C y HR 100%. n = 6. Letras diferentes en las líneas indican diferencias significativas.

que la supervivencia de *N. corniger* se ve favorecida cuando se estudia la interacción de estos dos factores, esto debido a que con dicha interacción (HR de 100% y temperatura de 20 °C) se obtuvo la mayor supervivencia de *N. corniger* con un 97.98% a las 24 h de observación. Lo que coincide con lo reportado por Wiltz (2012), quien señala que el éxito en la supervivencia de dos especies de termitas que evaluó de la familia Rhinotermitidae, aumentó a baja temperatura (10 °C) y alta HR (90%), este autor menciona que esto puede deberse a que a bajas temperaturas, la

tasa metabólica de las termitas baja de igual manera, lo que tiene como consecuencia una baja pérdida de humedad en su cuerpo, reflejándose en alta supervivencia. Los resultados obtenidos en esta investigación pueden ser no comparables con los autores antes señalados, debido a que en este estudio se trabajó con una especie de la familia Termitidae, pero esto se debe a que este es el primer estudio de este tipo que se realiza para la especie *N. corniger*, ya que la mayoría de los reportes se han realizado sobre especies subterráneas de la familia Rhinotermitidae y Kalotermitidae.

Los resultados muestran efecto de la HR y la temperatura, pero si sólo se toma en cuenta estos dos factores en la supervivencia in vitro de *N. corniger*, no son capaces de mantenerla por largos periodos de tiempo, lo cual pudo observarse, a las 48 y 72 h, al disminuir el porcentaje de supervivencia de las termitas del 89.86 al 54.09% a la temperatura y HR óptima de 20 °C y 100%. Por otro lado, al comparar este resultado con los obtenidos por Santos et al. (2020), al evaluar la actividad insecticida de aceites esenciales de plantas del género *Lippia* contra *N. corniger*, reporta que estos grupos tuvieron porcentajes de mortalidad del 35 y 40% a temperatura ambiental a las 48 h, mientras que en esta investigación para el mismo número de horas se obtuvo un porcentaje de mortalidad del 10.14% con condiciones ambientales controladas de 20 C y 100% HR. Sobre el sustrato, Lenz (2005) reporta que es otro factor que debe tomarse en cuenta para obtener resultados exitosos en bioensayos con termitas en laboratorio. Ya que este puede ser usado para la construcción de sus galerías, alimento o como recurso para obtener humedad (Hu et al. 2012, Zukowski y Su 2017). Es por ello que, en este estudio se evaluó la preferencia *N. corniger* de seis maderas diferentes que podrían funcionar como sustrato, resultando el eucalipto el de mayor preferencia por parte de *N. corniger*. Si bien, el propósito de esta investigación no fue determinar las propiedades químicas de los sustratos empleados, inferimos que esta propiedad pudo haber influido en la preferencia de termitas hacia el eucalipto. Las maderas tienen la presencia de sustancias extraíbles (químicos) (Anouhe et al. 2018). La parte

de la madera en la que se producen los extraíbles es lo que determina si desempeñan un papel como atrayentes o repelentes, es decir, en la albura, hay una mayor concentración de almidón y carbohidratos, lo que hace que esta parte de la madera sea más apetecible para los agentes biológicos que lo atacan (Nascimento 2013). Por otro lado, el duramen tiene una serie de componentes que lo hacen menos preferido a estos agentes (Anouhe et al. 2018). Esto nos lleva a pensar que el eucalipto fue el sustrato más atractivo debido a su composición química, además de la celulosa, que es la principal fuente de alimento de los insectos xilófagos como las termitas (Shimada y Maekawa 2010). Lo que coincide con Scheffrahn (1991), quien atribuye la preferencia de las termitas a este tipo de sustancias (extraíbles). Sobre lo mismo Liang et al. (2001), señalan que los insectos sociales tienen la capacidad de percibir y responder a las señales químicas y que estas mejoran varias actividades de las colonias, entre ellas, la recolección y la ubicación de la fuente de alimento (Sorvari et al. 2008). Lo cual, fue comprobado en un estudio realizado por Cristaldo et al. (2016), para la especie de termita *Nasutitermes aff. coxipoensis*, en donde encontraron que las respuestas conductuales de esta especie, como el forrajeo entre otras, está influenciada por las señales químicas de su fuente de alimento.

Al respecto, McManamy et al. (2008) señalan que la humedad del sustrato es un factor importante para la supervivencia prolongada de termitas, por lo que en esta investigación también se evaluó distintos porcentajes de HS indicando los resultados que la humedad del sustrato del 60% fue con la que las termitas alcanzaron el mayor TL₅₀ a los 15 días, tiempo que superó cinco veces a las 72 h (3 días) con el que las termitas alcanzaron un porcentaje de supervivencia de 54.09% con la interacción HR 100% y temperatura 20 °C. Al respecto, Gautam y Henderson (2011), Zukowski y Su (2017), reportaron resultados similares para especies de termitas subterráneas de la familia Rhinotermitidae y Kalotermitidae, señalando la necesidad de estas especies de habitar ambientes que les propicien una alta humedad, y no solo de la HR sino también de otras fuentes de agua

disponibles, que les permitan un mejor desarrollo de sus actividades y supervivencia.

CONCLUSIONES

Este es el primer estudio que permite conocer las condiciones óptimas para lograr una supervivencia de *N. corniger* de 50% por un tiempo de 15 días. Los factores como la HR, temperatura, sustrato y la humedad del sustrato, son importantes en la supervivencia de *N. corniger*, sin embargo, lo son aún más cuando se lleva a cabo la interacción de todos ellos en los niveles óptimos. Creo que es importante indicar la temperatura y humedad relativa en la que se

tiene la mayor supervivencia de la especie bajo estudio.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por la beca otorgada para la realización de este estudio. A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por facilitar el acceso a los laboratorios, materiales y equipos, de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL) y División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA).

LITERATURA CITADA

- Anouhe JBS, Niamké FB, Faustin M, Virieux D, Pirat JL, Adima AA, Amusant N (2018) The role of extractives in the natural durability of the heartwood of *Dicorynia guianensis* Amsh: new insights in antioxidant and antifungal properties. *Annals of Forest Science* 75: 15.
- Boulogne I, Constantino R, Amusant N, Falkowski M, Rodrigues AM, Houël E (2017) Ecology of termites from the genus *Nasutitermes* (Termitidae: Nasutitermitinae) and potential for science-based development of sustainable pest management programs. *Journal of Pest Science* 90: 19-37.
- Cancello EM, Myles TG (2000) Isoptera. En: Bousquets JL, Sorjano EG, Papavero N (Eds.) Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: Hacia una síntesis de su conocimiento. Vol 2. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp: 295-315.
- Cao R, Su NY (2015) Temperature preferences of four subterranean termite species (Isoptera: Rhinotermitidae) and temperature-dependent survivorship and wood-consumption rate. *Annals of the Entomological Society of America* 109: 64-71.
- Cristaldo PF, Araújo AP, Almeida CS, Cruz NG, Ribeiro EJ, Rocha ML, Florencio DF (2016) Resource availability influences aggression and response to chemical cues in the Neotropical termite *Nasutitermes aff. coxipoensis* (Termitidae: Nasutitermitinae). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 70: 1257-1265.
- Chouvenc T, Su NY, Robert A (2011) Differences in cellular encapsulation of six termite (Isoptera) species against infection by the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Florida Entomologist* 94: 389-397.
- Chouvenc T (2018) Comparative impact of chitin synthesis inhibitor baits and non-repellent liquid termiticides on subterranean termite colonies over foraging distances: colony elimination versus localized termite exclusion. *Journal of Economic Entomology* 111: 2317-2328.
- De Faria Santos A, Carrijo TF, Cancello EM, Castro AC (2017) Phylogeography of *Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) in the neotropical region. *BMC Evolutionary Biology* 17: 230.
- Fei H, Henderson G (2002) Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) wood consumption and worker survival as affected by temperature and soldier proportion. *Environmental Entomology* 31: 509-514.

- Gautam BK, Henderson G (2011) Wood consumption by Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) as affected by wood moisture content and temperature. *Annals of the Entomological Society of America* 104: 459-464.
- Henderson G, Gautam BK, Wang C (2016) Impact of ground-applied termiticides on the above-ground foraging behavior of the Formosan subterranean termite. *Insects* 7: 43. Doi: 10.3390/insects7030043.
- Hu J, Neoh KB, Appel AG, Lee CY (2012) Subterranean termite open-air foraging and tolerance to desiccation: Comparative water relation of two sympatric *Macrotermes* spp. (Blattodea: Termitidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 161: 201-207.
- Kakkar G, Su NY (2018) Molting drives mortality in foraging populations of Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) baited with a chitin synthesis inhibitor, noviflumuron. *Pest management science* 74: 219-224.
- Lenz M (2005) Laboratory bioassays with termites-the importance of termite biology. In: the 2^a Conference of Pacific Rim Termite Research Group on Wood Protection. Bangkok, Thailand. pp: 53-60.
- Liang D, Blomquist GJ, Silverman J (2001) Hydrocarbon-released nestmate aggression in the Argentine ant, *Linepithema humile*, following encounters with insect prey. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 129: 871-882.
- McManamy K, Koehler PG, Branscome DD, Pereira RM (2008) Wood moisture content affects the survival of eastern subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae), under saturated relative humidity conditions. *Sociobiology* 52: 145-156.
- Nakayama T, Yoshimura T, Imamura Y (2004) The optimum temperature-humidity combination for the feeding activities of Japanese subterranean termites. *Journal of Wood Science* 50: 530-534.
- Nascimento MS, Santana ALBD, Maranhão CA, Oliveira LS, Bieber L (2013) Phenolic extractives and natural resistance of wood. *Biodegradation-Life of Science* 801: 349-370.
- Norma Mexicana NMX-AA-16-1984. Protección al ambiente - contaminación del suelo-residuos solidos municipales - determinación de humedad. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/aa/aa016.pdf>. Fecha de consulta 11 de junio de 2019.
- Pervez A (2018) Termite Biology and Social Behaviour. In: Khan M, Ahmad W (Eds). *Termites and sustainable management. Sustainability in plant and crop protection*. Springer, Cham. Switzerland. pp: 119-143.
- Pozo-Santiago CO, Pérez-De la Cruz M, Torres-De la Cruz M, De la Cruz-Pérez A, Capello-García S, Hernández-Gallegos MA, Velázquez-Martínez JR (2020) Survival of *Coptotermes testaceus* (Isoptera: Rhinotermitidae) to Environmental Conditions (Relative Humidity and Temperature) and Preference to Different Substrates. *Sociobiology* 67: 425-432.
- Santos DR, Oliveira LM, Lucchese AM, De Freitas Espeleta A, Da Cruz JD, Lordelo MS (2020) Insecticidal activity of essential oils of species from the genus *Lippia* against *Nasutitermes corniger* (Motschulsky)(Isoptera: Termitidae). *Sociobiology* 67: 292-300.
- Scheffrahn RH (1991) Allelochemical resistance of wood to termites. *Sociobiology* 19: 257-281.
- Shimada K, Maekawa K (2010) Changes in endogenous cellulase gene expression levels and reproductive characteristics of primary and secondary reproductives with colony development of the termite *Reticulitermes peratus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Insect Physiology* 56: 1118-1124.
- SigmaPlot versión 12.0, de Systat Software, Inc. San José California EE.UU. <https://systatsoftware.com/>. Fecha de consulta 09 de octubre de 2019.

- Smythe RV, Carter FL (1969) Feeding responses to sound wood by the eastern subterranean termite *Reticulitermes flavipes*. *Annals of the Entomological Society of America* 62: 335-337.
- Sorvari J, Theodora P, Turillazzi S, Hakkarainen H, Sundström L (2008) Food resources, chemical signaling, and nest mate recognition in the ant *Formica aquilonia*. *Behavioral Ecology* 19: 441-447.
- Su N, Tamashiro M (1986) Wood-consumption rate and survival of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) when fed one of six woods used commercially in Hawaii. *Hawaiian Entomological Society* 26: 109-113.
- Verma M, Sharma S, Prasad R (2009) Biological alternatives for termite control: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63: 959-972.
- Wiltz B (2012) Effect of temperature and humidity on survival of *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flavipes* (Isoptera:Rhinotermitidae). *Sociobiology* 59: 381-394.
- Wong N, Lee CY (2010) Effects of disturbance and the presence of termite and other invertebrate carcasses at feeding sites on the behavior of the subterranean termite *Microcerotermes crassus* (Blattodea: Termitidae). *Sociobiology* 55: 353-368.
- Zukowski J, Su NY (2017) Survival of termites (Isoptera) exposed to various levels of relative humidity (RH) and water availability, and their RH preferences. *Florida Entomologist* 100: 532-539.
-

CONCLUSIÓN GENERAL

En el presente trabajo se estudió el papel de la humedad, temperatura y sustrato en la supervivencia de *N. corniger* y *C. testaceus*.

N. corniger obtuvo la supervivencia más alta a las 24 horas de observación con humedad relativa de 100% y la temperatura de 20 °C, con un 97.98%. Esto muestra un efecto significativo de la humedad relativa y temperatura, Sin embargo, resultados de este estudio también indican que si sólo se toma en cuenta estos dos factores en la supervivencia in vitro de *N. corniger*, no son capaces de mantener la supervivencia por largos periodos de tiempo, lo cual pudo observarse, a las 48 y 72 hora de observación, al disminuir el porcentaje de supervivencia de las termitas del 89.86 al 54.09%, respectivamente. En este estudio también se probó la humedad del sustrato como otro factor importante en la supervivencia de esta termita, previo a esto, se evaluó la preferencia de *N. corniger* hacia seis sustrato, obteniendo eucalyptus el porcentaje más alto de esta con un 49.33%. Identificado el sustrato de mayor preferencia, se determinó en laboratorio la supervivencia de *N. corniger* expuesta a cuatro humedades de sustrato, con temperatura y humedad constante. La humedad de sustrato del 60% obtuvo el mayor porcentaje de supervivencia con un TL₅₀ de 15 días.

C. testaceus mostró la supervivencia más alta con un 88.4% a las 24 horas de observación con humedad relativa de 100% y la temperatura de 20 °C. Este resultado muestra que tanto la humedad relativa como la temperatura son factores importantes en la supervivencia de *C. testaceus*, y más aún si existe un interacción entre ellos. Sin embargo, estos dos factores por sí solos y bajo condiciones de laboratorio no logran mantener la supervivencia de esta especie por periodos prolongados de tiempo. Para ello. En este estudio también se probó la humedad del sustrato, previo a esto, se evaluó la preferencia de *C. testaceus* hacia seis sustrato, obteniendo a eucalyptus el porcentaje más alto de esta con un 68.75%. Identificado el sustrato de mayor preferencia, se determinó en laboratorio la supervivencia de *C. testaceus* expuestas a cuatro humedades de sustrato, con

temperatura y humedad constante. La humedad de sustrato del 60% obtuvo el mayor porcentaje de supervivencia con un 83% a los 21 días de observación

Con este tipo de investigación y los resultados obtenidos, se muestra la supervivencia óptima de las termitas a determinada temperatura, humedad y sustrato, de igual manera, se proporciona por primera vez datos sobre la biología y los requerimientos ambientales óptimos para la supervivencia en laboratorio por tiempo prolongado de *N. corniger* y *C. testaceus*. Esta información preliminar obtenida en este trabajo, amplía el conocimiento científico sobre las dos especies antes mencionadas, mismos que pueden ser utilizados para desarrollar estrategias de manejo y control eficientes, que minimicen los daños ocasionados por estas termitas tanto en áreas agrícolas como urbanas. Por último, es importante mencionar que es de vital importancia la realización de más estudios sobre la biología y comportamiento de este grupo de insectos, que ayuden a comprender cada vez más el rol de los factores bióticos y abióticos en la supervivencia de las termitas y que permitan sentar las bases para la realización de bioensayos dirigidos a la búsqueda de productos para control de termitas que sean amigables con el ambiente y la salud humana, y que demuestren buenos resultados en su aplicación práctica y comercial.