



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE SAN MIGUELITO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN



Efecto de la presencia del nido de *Nasutitermes corniger* (Isóptera: Termitidae)
sobre la resistencia al patógeno *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales:
Clavicipitaceae).

PRESENTADO POR

ANDREA M. MAESTRE

EC-43-11339

Trabajo de graduación Presentado
a consideración de la Vicerrectoría
de Investigación y Postgrado como
Requisito parcial para optar por el
título de Magister en Docencia
Superior.

PANAMÁ, PANAMÁ

2025



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE SAN MIGUELITO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN



Efecto de la presencia del nido de *Nasutitermes corniger* (Isóptera: Termitidae)
sobre la resistencia al patógeno *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales:
Clavicipitaceae).

PRESENTADO POR
ANDREA M. MAESTRE
EC-43-11339

ASERORA PRINCIPAL:
Dra. NANCY CASTILLO

PANAMÁ, PANAMÁ

2025

TRIBUNAL EXAMINADOR**TÍTULO:**

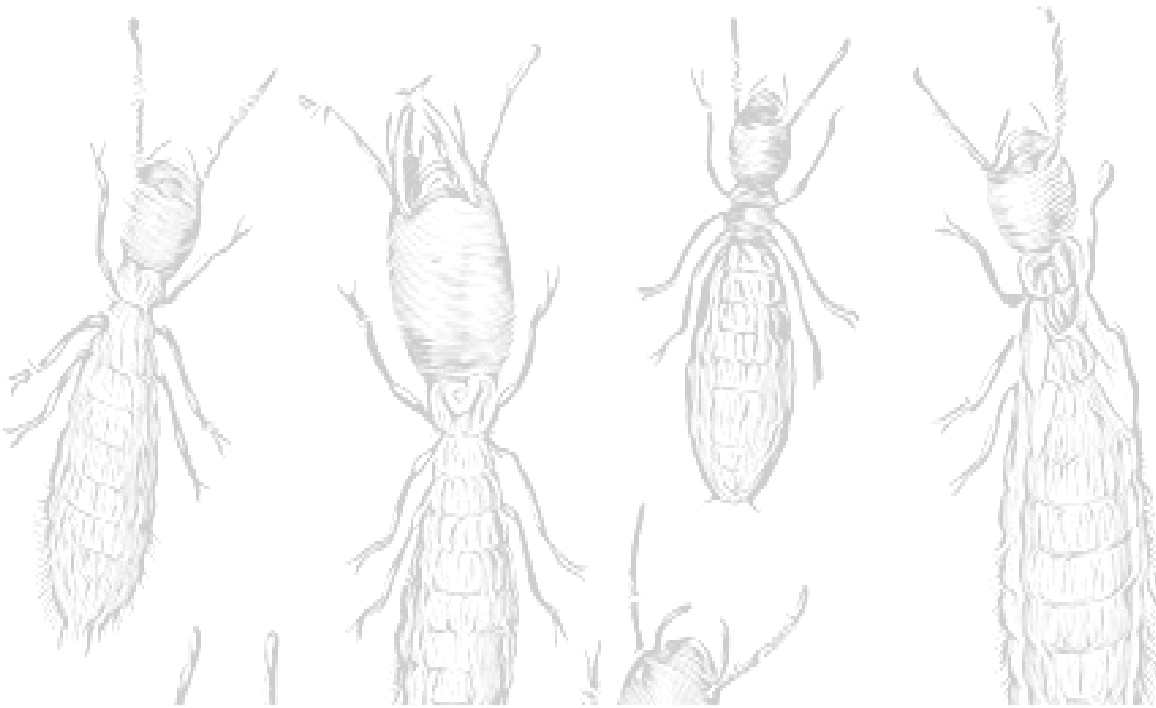
Efecto de la presencia del nido de *Nasutitermes corniger* (Isóptera: Termitidae) sobre la resistencia al patógeno *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae).

Autor:**ANDREA M. MAESTRE G.**

INFORME FINAL DE LA MAESTRÍA EN DOCENCIA SUPERIOR

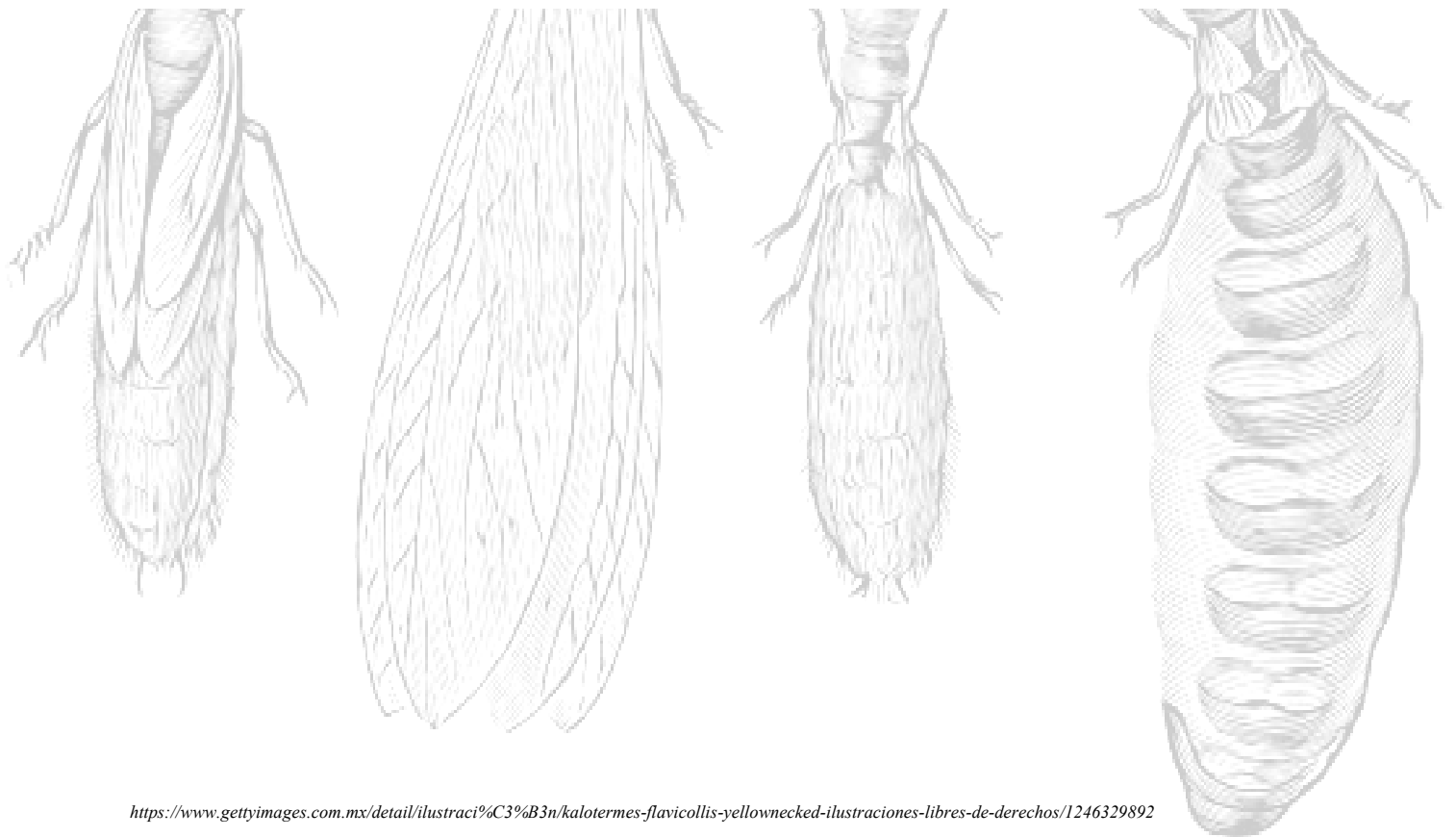
Trabajo de graduación presentado a consideración de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Facultad de Ciencias de la Educación.

Miembros del Tribunal Examinador**Asesora: Dra. Nancy Castillo** _____**Jurado:** _____**Jurado:** _____



"Los insectos son la pequeña gente que gobierna el mundo."

—Edward O. Wilson 1992



DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido vivir toda esta aventura, de alcanzar un triunfo más en la vida e ilumíname a tomar las mejores Decisiones.

Amado hijo, **Rocco Tahiel Villanueva Maestre**, eres la mayor inspiración y motor incansable de mi existencia eres la luz que ilumina los días y la razón por la que cada desafío cobra sentido que este logro sea un reflejo del amor, la constancia y la dedicación que deseo inculcarte todo lo que hago lleva en su esencia el anhelo de brindarte un futuro lleno de oportunidades y aprendizajes.

A **Héctor Villanueva**, compañero de vida, por ser el sostén en los momentos difíciles, refugio en la tormenta e impulso en cada momento.

A **Damelis Maestre** amada madre, cuya fortaleza, amor y entrega inquebrantable han sido un ejemplo de vida. A **Shiridith Castro** hermana, por su complicidad, apoyo y por estar siempre a en cada paso del camino, **Addison Camero** querida sobrina, cuya alegría y dulzura llenan de vida de luz y esperanza. Gracias a cada una de ustedes por su amor incondicional, por creer en mí y por ser parte esencial de este logro.

Este triunfo es el fruto de muchos sacrificios, pero también del amor y el apoyo de quienes han estado siempre a mi lado.

Con gratitud infinita y todo amor,

ANDREA MAESTRE

AGRADECIMIENTOS

Dra. Nancy Castillo asesora, por compartir generosamente su conocimiento, por sus valiosas sugerencias y por su guía durante este proceso. Su apoyo ha sido fundamental para el desarrollo de esta investigación.

Al colega y amigo **Mgtr. Rubén Guardia**, entomólogo egresado de la Universidad de Panamá, por su disposición, conocimientos y compartir sus habilidades, enriqueciendo con su experiencia cada etapa de este trabajo.

A todos los profesores y al personal administrativo de la **Universidad de Panamá**, cuyo esfuerzo y dedicación contribuyen a la formación de profesionales comprometidos.

A los Mgtr. **Ricardo Pérez y Ana María Jiménez**, por su apoyo incondicional, su amabilidad y su disposición, que fueron clave para la culminación de este trabajo.

A todas las personas que, de una u otra forma, fueron parte de este proceso, dejando su huella en este camino.

Con aprecio y gratitud,

ANDREA MAESTRE

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
TABLA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.....	1
1.1. Antecedentes del Problema.....	2
1.2. Situación Actual de Problema.....	7
1.2.1. Justificación	9
1.3. Objetivos de la Investigación.....	10
1.3.1. Objetivos Generales	10
1.3.2. Objetivos Específicos.....	10
1.4. Delimitación, Alcance o Cobertura.....	11
1.5. Hipótesis General del Trabajo	12
1.5.1. Hipótesis del Trabajo (Hi)	12
1.5.2. Hipótesis Nula (HO)	12
1.6. Restricciones y/o Limitaciones	12
1.7. Importancia	13
1.7.1. Importancia de la Investigación.....	15

1.7.2. Aportes	16
CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA	18
2. Historia de las Termitas	19
2.1. Reordenando las Termitas.....	20
2.2. Filogenia	22
2.3. Taxonomía	23
2.3.1. Cladograma Resumen de Isóptera.	24
2.4. Clasificación	25
2.5. Árbol de la vida.....	27
2.6. Marco Teórico.....	30
2.7. ¿Qué son, y Cómo son, ¿Las termitas?	30
2.8. <i>Nasutitermes corniger</i> (Motschulsky, 1855)	33
2.8.1. Clave Dicotómica para las especies de termitas soldados	35
2.8.2. Distribución General	37
2.8.3. Una Monarquía Perfecta	38
2.8.3.1. Morfología	38
2.8.3.2. Los Reproductores	38
2.8.3.3. Las Obreras	39
2.8.3.4. Los soldados.....	40
2.9. Patógeno <i>Metarhizium anisopliae</i>	42
2.9.1. Taxonomía y Características Morfológicas	42
2.9.2. Aplicaciones en el Control Biológico	44
2.9.2.1. Factores que Afectan su Eficacia.....	44
2.9.3. Teorías y Enfoques Relevantes.....	45
2.9.3.1. Teoría de la Eficiencia de Defensa de Colonias Sociales	45

2.9.3.2. Teoría de la Coevolución de Insectos y Patógenos.....	46
2.9.3.3. Teoría del Microbioma del Nido.....	46
2.9.4. Resistencia de las Termitas al Patógeno	47
2.9.5. Interacción entre <i>Nasutitermis coniger</i> y <i>Metarhizium anisopliae</i> en el Nido	47
2.9.6. Biología.....	48
2.9.6.1. Alimentación de <i>Nasutitermes corniger</i>	48
2.9.6.2. Tipo de Aparato Bucal	48
2.9.6.3. Ciclo de vida	49
2.9.7. Desarrollo de los Individuos en 3 etapas	49
2.9.7.1. Etapa de huevo	49
2.9.7.2. Etapa de ninfa	49
2.9.7.3. Diferenciación en el desarrollo de las ninfas	50
2.9.7.4. Madurez y reproducción	50
2.9.8. Tipos de nidos en Termitas	53
2.9.8.1. Nidos subterráneos:.....	53
2.9.8.2. Nidos arbóreos:	53
2.9.8.3. Nidos epigeos:.....	53
2.9.8.4. Nidos dentro de la madera:	53
2.9.9. Relación con el ser humano e Importancia ecológica de las termitas.....	54
2.9.9.1. Utilidad de las termitas en la alimentación humana	57
2.9.9.2. Importancia Ecológica de las Termitas.....	58
CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS	60
3. Diseño de la Investigación	61
3.1. Tipo de Investigación.....	61
3.2. Variables a examinar.....	62

3.2.1. Variable Independiente	63
3.2.3. Variable Dependiente.....	63
3.3. Conceptualización de las Variables	63
3.4. Población y Muestra	64
3.4.1. Población del Experimento	65
3.4.2. Criterios de Selección de la Población.....	65
3.4.3. Muestra	66
3.5. Técnicas e Instrumentos de Investigación	66
3.5.1. Instrumentación.....	66
3.6. Cronograma de la Investigación	67
3.6.1 Cronograma de Actividades.....	68
3.7. Presupuesto	69
3.8. Datos Geográficos.....	71
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	72
4. Procedimiento para su realización	73
4.1. Preservación y conservación de los ejemplares	74
4.2. Análisis de los resultados.....	81
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA	92
GLOSARIO	103
ANEXOS	106

ÍNDICE DE GRÁFICAS

No.	DESCRIPCIÓN	Página.
Gráfica No.6	Tratamiento 1 resultados de las 3 réplicas más el grupo control, con el patógeno en diferentes Concentraciones	82
Gráfica No.7	Tratamiento 2 resultados de las 3 réplicas más el grupo control, con el patógeno en diferentes Concentraciones	85
Gráfica No.8	Tratamiento 3 resultados de las 3 réplicas más el grupo control, con el patógeno en diferentes concentraciones	88

ÍNDICE DE CUADROS

N°	DESCRIPCIÓN	Página.
Cuadro No.1	Diferencias entre las termitas y las hormigas	31
Cuadro No.2	Operacionalización de las variables: una definición operacional está constituida por una serie de procedimientos.	63
Cuadro No.3	Formato del Catálogo en Excel con los datos de los ejemplares de <i>Nasutitermes corniger</i> con el patógeno <i>Metarhizium anisopliae</i> .	67
Cuadro No.4	Cronograma de Actividades	68
Cuadro No.5	Presupuesto del proyecto	69
Cuadro No.6	Tratamiento No 1, resultados de las 3 réplicas más el grupo control, con el patógeno en diferentes Concentraciones.	81
Cuadro No.7	Tratamiento No 2, resultados de las 3 réplicas más el grupo control, con el patógeno en diferentes Concentraciones.	84
Cuadro No.8	Tratamiento No 3, resultados de las 3 réplicas más el grupo control, con el patógeno en diferentes Concentraciones.	87

TABLA DE FIGURAS

Figura. 1 Nido de termitas, colonia en el árbol.....	2
Figura. 2 Fotografía del nido y de los soldados de <i>Nasutitermes corniger</i>	3
Figura. 3 <i>Metarhizium anisopliae</i> en el cuerpo de un infectado.	6
Figura. 4 https://docs.google.com/forms/d/193vg65hh2vqXLVyiNbwj0MNg4FT4o-m0Rlo0jR6kF1l/prefill	11
Figura. 5 Calle 17B casa 1556 donde se realizó el procedimiento de conteo y control.	11
Figura. 6 Distinción entre grupos monofiléticos, parafiléticos y polifiléticos.	20
Figura. 7 Termitinae https://colombia.inaturalist.org/taxa/566675-Termitinae	21
Figura. 8 Rhinotermitidae https://mexico.inaturalist.org/taxa/119932-Rhinotermitidae	21
Figura. 9 Árbol filogenético propuesto por Inward y colaboradores (2007).....	22
Figura. 10 Cladograma resumido de Isóptera / Gráficos: M. M. Rocha; R. H. Scheffrahn; J. Šobotník.	24
Figura. 11 Vuelo nupcial de las termitas aladas https://bucek-lab.org/gallery/Heterotermitidae/	26
Figura. 12 Diferencias entre las hormigas aladas y las termitas aladas.....	30
Figura. 13 Diferencias entre las Hormigas y las termitas (obreras) https://exprodim.com/hormiga-y-termita/	32
Figura. 14 <i>Nasutitermes corniger</i>	34
Figura. 15 Distribución geográfica de <i>Nasutitermes corniger</i>	37
Figura. 16 Mapa de las Regiones polares donde no se encuentran termes. https://www.fumix.org/termitas	37
Figura. 17 Tipo de castas en las termitas	38
Figura. 18 Ejemplar de termita obrera https://www.fumix.org/termitas	39
Figura. 19 Ejemplar de termita soldado https://www.fumix.org/termitas	40
Figura. 20 Colonia de <i>Nasutitermes Corniger</i> con el rey.....	41
Figura. 21 <i>Metarhizium anisopliae</i> utilizado en el muestreo como patógeno principal.....	42
Figura. 22 Etapas principales del ciclo de infección de <i>Metarhizium</i>	43
Figura. 23 El ciclo de vida de las termitas	52
Figura. 24 Daños a Madera de una casa por los termes https://www.anticimex.es/termitas/danos/	55

Figura. 25 Daños a la madera https://euoplades.com/como-detecatar-y-tratar-al-comejen/	55
Figura. 26 Infestación de termitas y sus daños a la propiedad	56
Figura. 27 Beneficios de las termitas.....	56
Figura. 28 Nido de termitas utilizadas para la alimentación.....	57
Figura. 29 El lobo de tierra o proteles (<i>Proteles cristata</i> o <i>Proteles cristatus</i>).....	58
Figura. 30 Pangolines	58
Figura. 31 Cerdos Hormigueros	58
Figura. 32 Partes cruciales del nido.....	59
Figura. 33 Informe Nacional de Biodiversidad.....	71
Figura. 34 Primer termitero.....	74
Figura. 35 Corte y Recolecta de cada uno de los termiteros.	75
Figura. 36 Tercer termitero o.....	76
Figura. 37 Vasijas de contención con cada uno de los tratamientos, a los cuales serán sometidos.	77
Figura. 38 Tratamientos de 3 colonias diferentes apiladas en espera de analizar su tasa de mortalidad.....	77
Figura. 39 Batería de disoluciones para los diferentes tratamientos.	78
Figura. 40 <i>Metarhizium anisopliae</i>	79
Figura. 41 Imágenes en donde se Ubica a la investigadora principal	107
Figura. 42 Ejemplares de <i>Termitas Nasutitermes corniger</i> (Isoptera: Termitidae).	108
Figura. 43 Ejemplares de <i>Termitas Nasutitermes corniger</i> (Isoptera: Termitidae).	109
Figura. 44 Ejemplares de <i>Termitas Nasutitermes corniger</i> (Isoptera: Termitidae)	110
Figura. 45 Ejemplares de <i>Termitas Nasutitermes corniger</i> (Isoptera: Termitidae)	111

RESUMEN EJECUTIVO

El control biológico es una técnica agrícola en constante evolución que busca eliminar plagas y patógenos utilizando sus enemigos naturales. En este contexto, los hongos entomopatógenos, como *Metarhizium anisopliae*, han sido ampliamente utilizados por su capacidad para infectar insectos y actuar como insecticidas de contacto. Estos hongos atraviesan las cutículas o paredes digestivas de los insectos para infectarlos y causan su muerte tras un proceso de invasión y desarrollo dentro del huésped.

Existe más de 750 especies de hongos entomopatógenos, siendo *Metarhizium anisopliae* uno de los más utilizados. Este hongo ha sido estudiado por su potencial en el BioControl de plagas, incluyendo termitas como *Nasutitermes corniger*.

Las termitas presentan mecanismos de defensa contra los patógenos, algunas especies han desarrollado adaptaciones sociales para combatir infecciones.

El hongo *Metarhizium anisopliae* es conocido por su capacidad para infectar más de 200 especies de insectos y se utiliza como insecticida biológico. Su aplicación en el control de plagas, como las termitas y mosquitos, continúa siendo un área activa de investigación.

Ahora bien, Con el objetivo de observar las diferentes respuestas inmunes a el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* se impregnaron individuos de *Nasutitermes corniger* con una batería de disolución que contaban con las esporas de dicho patógeno, se midió la cantidad de individuos que padecieron la enfermedad.

Palabras Clave: Inmunidad, Hongos, Termitas, Enfermedades, Esporas.

ABSTRACT

Biological control is an agricultural technique in constant evolution that seeks to eliminate pests and pathogens using their natural enemies. In this context, entomopathogenic fungi, such as *Metarhizium anisopliae*, have been widely used for their ability to infect insects and act as contact insecticides. These fungi pass through the cuticles or digestive walls of insects to infect them and cause their death after a process of invasion and development within the host.

There are more than 750 species of entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* being one of the most widely used. This fungus has been studied for its potential in the biocontrol of pests, including termites such as *Nasutitermes corniger*.

Termites have defense mechanisms against pathogens, some species have developed social adaptations to fight infections.

The fungus *Metarhizium anisopliae* is known for its ability to infect more than 200 species of insects and is used as a biological insecticide. Its application in the control of pests, such as termites and mosquitoes, continues to be an active area of research.

In order to observe the different immune responses to the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*, individuals of *Nasutitermes corniger* were impregnated with a dissolution battery that had the spores of this pathogen, the number of individuals that suffered from the disease was measured.

Keywords: Immunity, Fungi, Termites, Diseases, Spores.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realiza con el fin de determinar si la estructura del nido de *Nasutitermes corniger* (familia Termitidae) (termitas) ofrece a la colonia una ventaja adaptativa que le permite reducir la incidencia de infecciones fúngicas.

La investigación reviste gran importancia tanto en el ámbito de la ecología de los insectos sociales como en la gestión sostenible de plagas, ya que comprender la interacción entre termitas y patógenos puede contribuir al diseño de métodos más eficaces para su control en diversos ecosistemas.

En este sentido, el estudio examinará el vínculo entre la arquitectura del nido de *Nasutitermes corniger* (familia Termitidae) y la resistencia a infecciones, evaluando si sus características físicas o químicas influyen en la propagación y efectividad de *Metarhizium anisopliae*. Mediante un enfoque experimental, se espera obtener información clave sobre los mecanismos de defensa que emplean estas termitas, lo que permitirá ampliar el conocimiento sobre su función ecológica y su respuesta al agente del control biológico.

Los propios insectos tienen mecanismos de defensa contra el ataque de entomopatógenos, incluidas barreras físicas, defensas humorales, defensas celulares y comportamiento social.

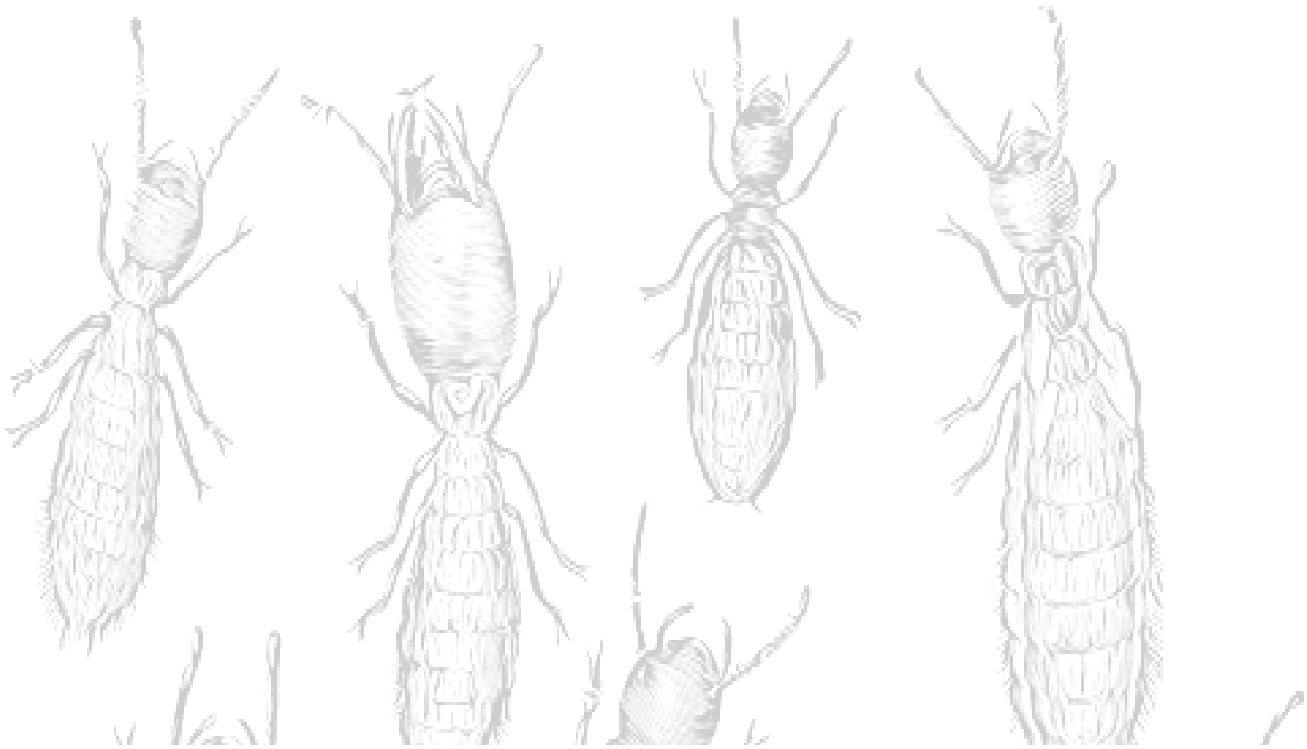
El Capítulo I ofrece “El problema y sus generalidades”, el cual describe los antecedentes del estudio, planteamiento del problema, justificación, objetivos, delimitación, alcance, hipótesis y limitaciones del estudio.

El Capítulo II muestra El Marco de referencia”, en donde se precisa claramente la definición conceptual de las variables en estudio y los subtemas que surgen de cada una de ellas para dar sustento teórico a la investigación.

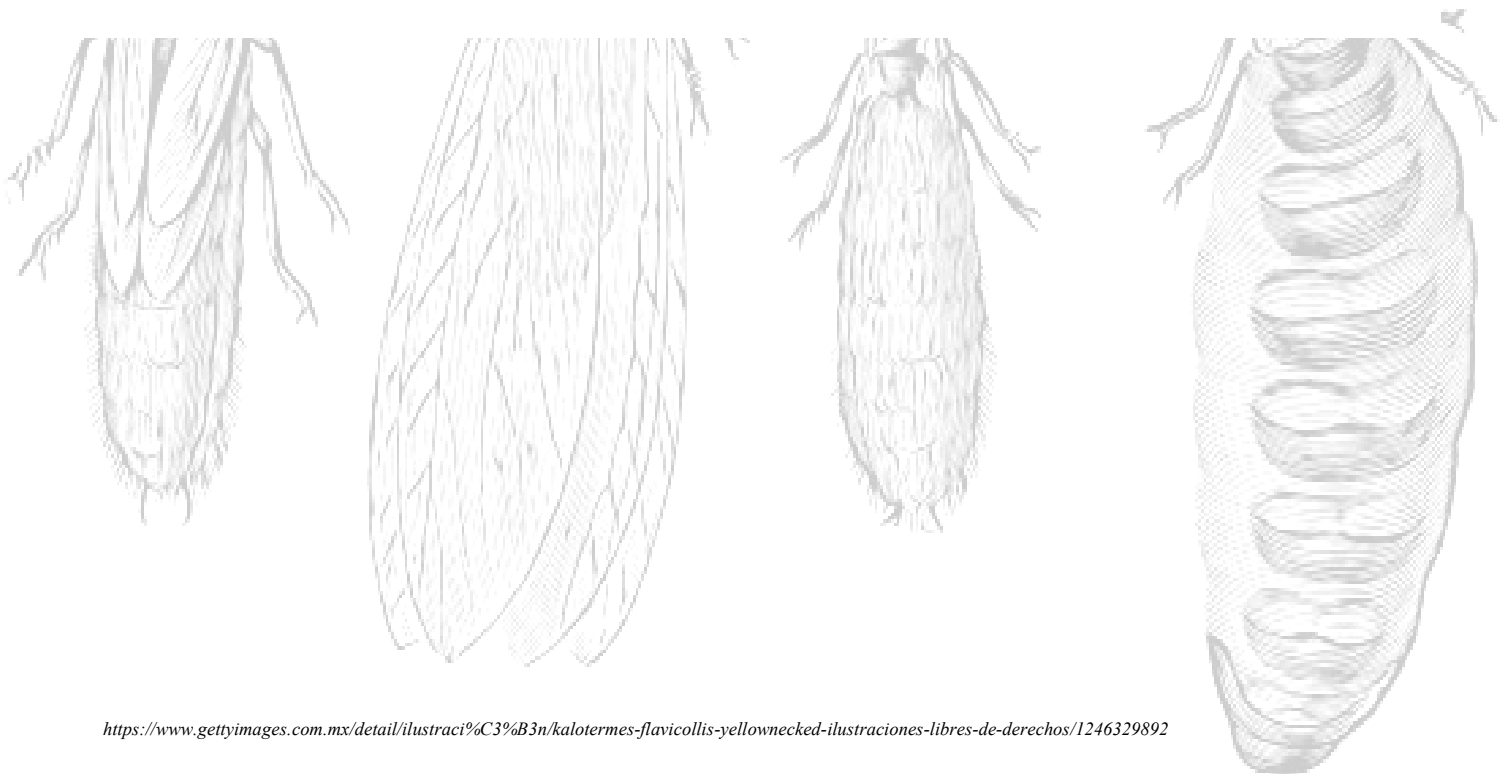
El Capítulo III muestra el marco metodológico contiene la estructura metodológica de la investigación, en ella se ofrecen el diseño de investigación (enfoque, tipo de estudio, método), las variables de estudio, la población y muestra, técnica e instrumento de recolección de datos cronograma, instrumentos utilizados.

El Capítulo IV proporciona el Análisis e interpretación de los datos obtenidos de los resultados o recopilados del instrumento aplicado a la muestra en estudio. Los mismos son presentados a través de cuadros y gráficas.

Se presenta la investigación con el propósito de dar respuestas al planteamiento del problema. Así mismo, se ofrece como medio de consulta para futuras investigaciones, de igual forma se propone a la luz del evaluador.



CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO



1.1. Antecedentes del Problema

Investigaciones realizadas en un bosque lluvioso de Costa Rica con *Nasutitermes* y *Rhynchotermes* (Isóptera: Nasutitermitinae) sugieren que la fijación de nitrógeno por parte de sus simbioses intestinales desempeña un papel fundamental en la nutrición de estas termitas. Se observará que las especies que se consumen hojarasca presentan una mayor tasa de ingestión, pero una menor fijación de nitrógeno en comparación con aquellas que se alimentan de madera en análisis. Ambas especies muestran preferencia por recursos con alto contenido de nitrógeno dentro de su repertorio de forrajeo.

Además, se detectan tasas inusualmente altas de fijación de nitrógeno (medida mediante la reducción de acetileno) en los soldados de *Nasutitermes*, lo que sugiere una menor dependencia nutricional de las obreras. Finalmente, las tasas de fijación de nitrógeno en las termitas disminuyeron significativamente dentro de las 24 horas posteriores a la remoción de la colonia del entorno natural, destacando la relevancia de realizar estudios sobre fijación de nitrógeno en condiciones de campo para obtener resultados más representativos (Prestwich et al 1980).

Los nidos de *Nasutitermes corniger* (Figura 1) son de color marrón oscuro en la superficie y tienen pequeñas protuberancias en el exterior. Cuando son pequeños (menos de 20 cm de diámetro) tienden a ser esféricos, pero a medida que crecen se vuelven más elípticos. También, puede haber lóbulos localizados en la superficie del nido.



Figura. 1 Nido de termitas, colonia en el árbol.
<https://es.vecteezy.com/foto/4480730-nido-de-termitas-en-colonia-en-arbol-estos-insectos-son-responsables-de-destruir-objetos-de-madera-y-casas>

La reina vive en una cámara ubicada en el centro del nido (a menudo cerca del tronco o rama del árbol al que está sujeto el nido), que mide hasta 8 cm de ancho y 1 cm de alto y está fuertemente reforzada. El grosor de las paredes del nido disminuye desde la capa media hacia el exterior, aunque si el nido es atacado por los depredadores, entonces las paredes serán reforzadas (Thorne 1980).

Las colonias de termitas (Figura 2) son ejemplos de insectos eusociales. Los insectos eusociales son animales que desarrollan grandes sociedades cooperativas multigeneracionales que se ayudan mutuamente en la crianza de los jóvenes, a menudo a costa de la vida o la capacidad reproductiva de un individuo.



Figura. 2 Fotografía del nido y de los soldados de Nasutitermes cornigerr

El trópico americano es muy conocido por su biodiversidad lo cual surge de su variable complejidad de hábitats, en donde los factores que influyen en la distribución geográfica de las especies esta la biogeografía híbrida e historia de la geología compleja.

Los Nasutitermitinae muestran la distribución más amplia y la mayor diversidad de especies entre las termitas superiores. Los géneros presentan soldados con mecanismos de defensa químicos y físicos, incluyendo una serie de formas con una progresiva disminución del tamaño de la mandíbula y, en consecuencia, el tamaño relativo de la proyección frontal o nasal aumenta. En los géneros más avanzados de esta subfamilia, la tibia anterior tiene sólo dos espolones (Nickle & Collins 1992., Mathews 1977 pp. 267).

En un ensayo de selección preliminar realizado en el género *Coptotermes*, se comparó la actividad de *M. anisopliae* y *Beauveria bassiana* en *Coptotermes formosanus*. Los resultados evidenciaron que *M. anisopliae* presentó una mayor tasa de mortalidad en esta especie en comparación con *B. bassiana*, lo que sugiere su potencial como agente de control biológico en poblaciones de termitas (Chouvenc, et al, 2009).

La metodología para controlar su población de la *Nasutitermes corniger* (familia Termitidae) de manera ecológica y económica a través de una metodología fácil de poner a prueba, su capacidad con los patógenos, como el patógeno *Metarhizium anisopliae* (Familia Clavicipitaceae) que de manera consecutiva se utiliza para controlar algunos invertebrados.

La incapacidad del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* para completar su ciclo de vida dentro de un grupo de *Coptotermes formosanus* (Isóptera: Rhinotermitidae) se atribuye principalmente al canibalismo y al comportamiento de entierro entre individuos de la colonia, incluso cuando la mortalidad de las termitas alcanzó hasta un 75%.

Dado que una colonia de termitas subterráneas, al actuar como un super organismo, es capaz de prevenir epizootías causadas por *M. anisopliae*. (Chouvenc et al., 2010). Aunque no se han encontrado estudios que aborden directamente el efecto de la presencia del nido de *Nasutitermes corniger* sobre la resistencia al patógeno *Metarhizium anisopliae*, existen investigaciones que exploran interacciones relevantes entre termitas y hongos entomopatógenos (Yanagawa et al; 2007).

Además, estudios sobre la inmunidad social en *Nasutitermes corniger* han evaluado el papel de los grupos mixtos de castas en la defensa colectiva contra *Metarhizium anisopliae*

indicando que la cooperación entre diferentes castas puede mejorar la resistencia de la colonia al patógeno. (Chouvenc et al. 2010).

Estas investigaciones sugieren que las defensas químicas y comportamentales de *Nasutitermes corniger* desempeñan un papel crucial en la resistencia al hongo *Metarhizium anisopliae*. Sin embargo, se requieren estudios específicos para comprender cómo la estructura y la presencia del nido influyen en esta interacción. (Chouvenc, et al 2013).

Un estudio para evaluar la capacidad de *Metarhizium anisopliae* de infectar colonias de *Coptotermes formosanus*. Los resultados indicaron que la introducción de individuos infectados en la colonia provocó una mortalidad total del 95 % en un período de 10 a 15 días. Este hallazgo resalta la eficiencia del hongo en la transmisión horizontal, facilitada por el comportamiento social de las termitas, como el contacto físico y el aseo mutuo (Sun et al. 2003).

Investigaciones adicionales han demostrado que, bajo condiciones de laboratorio, la exposición de estas termitas al hongo puede generar tasas de mortalidad de entre 80 y 90 %. Por ejemplo, (Wright et al.2005) evidenciaron que las termitas infectadas con una cepa altamente virulenta de *M. anisopliae* murieron en un lapso menor a 7 días. Además, este estudio analizó el impacto de la humedad en la germinación de las esporas, destacando su papel en la efectividad del patógeno.

Los principios tradicionales de epizootiología pueden no ser aplicables a estos insectos sociales, esto se debe a que las termitas han desarrollado mecanismos conductuales y fisiológicos que interrumpen el ciclo de vida del patógeno, limitando su propagación y efectividad dentro de la colonia (Chouvenc et al. 2012).

Por ejemplo, se ha observado que las secreciones defensivas de los soldados de *Nasutitermes* pueden inhibir la germinación de esporas fúngicas, sugiriendo un posible papel antiséptico de estas secreciones en la protección de la colonia contra patógenos (Rosengaus et al 1998).

Metarhizium anisopliae, anteriormente conocido como *Entomophthora anisopliae* (basiónimo), es un hongo que crece naturalmente en suelos de todo el mundo y causa enfermedades en varios insectos al actuar como un parasitoide (Figura 3).

Ilya I. Mechnikov lo nombró por la especie de insecto de la que aisló originalmente: el escarabajo *Anisoplia austriaca*. Es un hongo mitospórico con reproducción asexual, que anteriormente se clasificaba en la clase de forma Hyphomycetes del filo Deuteromycota (también llamado a menudo hongos imperfectos).

Según Stamets (2005) podría ser la respuesta para eliminar colonias de *Nasutitermes corniger* y prevenir la hambruna catastrófica causada por otros insectos plagas *Metarhizium anisopliae*, antes de 2009, infectaba a más de 200 especies de plagas de insectos (Cloyd 1999).

Metarhizium anisopliae y sus especies relacionadas se usan como insecticidas biológicos para controlar una serie de plagas como termitas, trips, entre otros, y su uso en el control de mosquitos transmisores de malaria está bajo investigación (McNeil 2005).

Según Cloyd (1999) *M. anisopliae* no parece infectar a los humanos, pero se ha informado que es un patógeno significativo de los reptiles. Las esporas microscópicas generalmente se rocían en las áreas afectadas.



Figura. 3
Metarhizium anisopliae en el cuerpo de un infectado.

Las esporas de *Metarhizium anisopliae* presentan una germinación óptima en ambientes con alta humedad (70-90 %) y temperaturas que oscilan entre 25 y 30 °C.

En plantaciones forestales de Brasil, la aplicación regular de *M. anisopliae* durante un período de seis (6) meses logró reducir las infestaciones de termitas en un 70 %. Por otro lado, en entornos urbanos de Australia, el hongo fue utilizado en combinación con trampas cebadas, demostrando no solo una disminución significativa en la población de termitas, sino también la prevención de reinfestaciones durante un año completo.

1.2. Situación Actual de Problema

El control biológico es una práctica agrícola en evolución que elimina patógenos y plagas, generalmente total o parcialmente, explotando a sus enemigos naturales (Spardo et al., 2004).

Existen muchos informes sobre el uso de microorganismos entomopatógenos como agentes de bio-control debido a su capacidad para causar enfermedades y muerte en insectos (Asaff et al., 2002).

De los diferentes microorganismos empleados, los hongos tienen mecanismos de invasión únicos que les permiten atravesar de forma directa la cutícula o la pared del tracto digestivo de los insectos, lo que los hace excelentes agentes de control biológico actuando como insecticidas de contacto (Charnley et al., 2007). El hongo *Metarhizium anisopliae* ha sido ampliamente estudiado como un organismo regulador clave para el BioControl (Frazzon et al., 2000; Dutra et al., 2004).

Los propios insectos tienen mecanismos de defensa contra el ataque de entomopatógenos, incluidas barreras físicas, defensas humorales, defensas celulares y comportamiento social (Marmaras *et al.*, 1996).

Hasta el momento se han descrito más de 750 especies de hongos entomopatógenos y el aislamiento de nuevas cepas continúa. Dentro de los más utilizados a nivel mundial se encuentran *Metarhizium anisopliae* (33.9%), *Beauveria bassiana* (33.9%), *Isaria fumosorosea* (antes *Paecilomyces fumosoroseus*) (5.8%) y *Beauveria brongniartii* (4.1%) el desarrollo de la enfermedad en el insecto está dividido en tres fases:

- ✈ Adhesión y germinación de la espora en la cutícula del insecto
- ✈ Penetración en el hemocele
- ✈ Desarrollo del hongo, que generalmente resulta en la muerte del insecto (Faria *et al.*, 2007).

Como parte de su continua lucha por la supervivencia, algunos insectos son capaces de aumentar sus defensas contra los patógenos dependiendo de su densidad de población. En este caso, la selección natural apoya a las personas que usan señales relacionadas con la densidad de población para desarrollar mecanismos de protección óptimos.

En el caso de los insectos sociales, estos han desarrollado múltiples adaptaciones de conducta o comportamiento para evitar o combatir las infecciones por parásitos y patógenos. El primer caso de adaptaciones del comportamiento social consiste en retirar a los miembros de la colonia que poseen síntomas de enfermedad (Richard *et al.*, 2008).

Nasutitermes corniger es una especie de termita arbórea que es endémica de los neotrópicos. Está muy relacionado con *Nasutitermes ephratae*. La especie se ha estudiado de manera relativamente intensiva, particularmente en la isla Barro Colorado, Panamá. Estos estudios y otros han demostrado que la termita interactúa con muchos organismos diferentes, incluyendo un murciélago que se posa en su nido y varias especies de hormigas que conviven con la termita (Dechmann et al., 2005).

1.2.1. Justificación

Esta investigación se lleva a cabo con el objetivo de identificar estrategias efectivas para el control biológico de termitas, considerando el uso de entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae* como una alternativa complementaria a los insecticidas químicos. *M. anisopliae* es un hongo entomopatógeno de amplio espectro que ha sido evaluado en diversos estudios por su efectividad contra distintas especies de termitas.

La resistencia del nido de *Nasutitermes corniger* frente al patógeno *Metarhizium anisopliae* resulta de gran interés tanto desde un enfoque ecológico como aplicado.

Analizar la influencia del nido de *Nasutitermes corniger* en la resistencia al hongo es clave para comprender las interacciones entre insectos sociales y sus patógenos, mejorar la aplicación de agentes de control biológico y evaluar cómo los refugios influyen en la supervivencia de las colonias.

Además, entender la resistencia de *Nasutitermes corniger* a *M. anisopliae* permite anticipar el efecto de los hongos entomopatógenos en la regulación natural de las poblaciones de termitas, así como su papel en los ecosistemas, particularmente en la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes.

1.3. Objetivos de la Investigación

Los Objetivos nos permiten trazar las metas que se van, alcanzar poco a poco. En este estudio se plantean dos tipos de objetivos: El objetivo general y el objetivo específico.

1.3.1. Objetivos Generales

Observar los diferentes mecanismos de protección que le brinda el nido a la (familia: Termitidae) *Nasutitermes corniger* en contacto con la resistencia al patógeno *Metarhizium anisopliae* (Familia: Clavicipitaceae). En un ambiente controlado.

1.3.2. Objetivos Específicos

- ✎ Reconocer las variables que este patógeno *Metarhizium anisopliae* (Familia: Clavicipitaceae) puede dar en los invertebrados de la familia (familia: Termitidae) *Nasutitermes corniger*.
- ✎ Comparar las variables de supervivencia de la familia (familia: Termitidae) *Nasutitermes corniger*.
- ✎ Analizar el comportamiento que se posee el patógeno *Metarhizium anisopliae* (Familia: Clavicipitaceae) en un medio controlado.

1.4. Delimitación, Alcance o Cobertura

Ubicado en Gamboa, carretera Gaillard, cerro Tigre, avenida Omar Torrijos, vía Centenaria, tramos de los parques Nacionales Soberanía y Camino de Cruces, Corredor Eléctrico de la ACP y culminando contiguo a la Universidad Tecnológica de Panamá. Corregimiento de Ancón, Distrito y Provincia de Panamá.

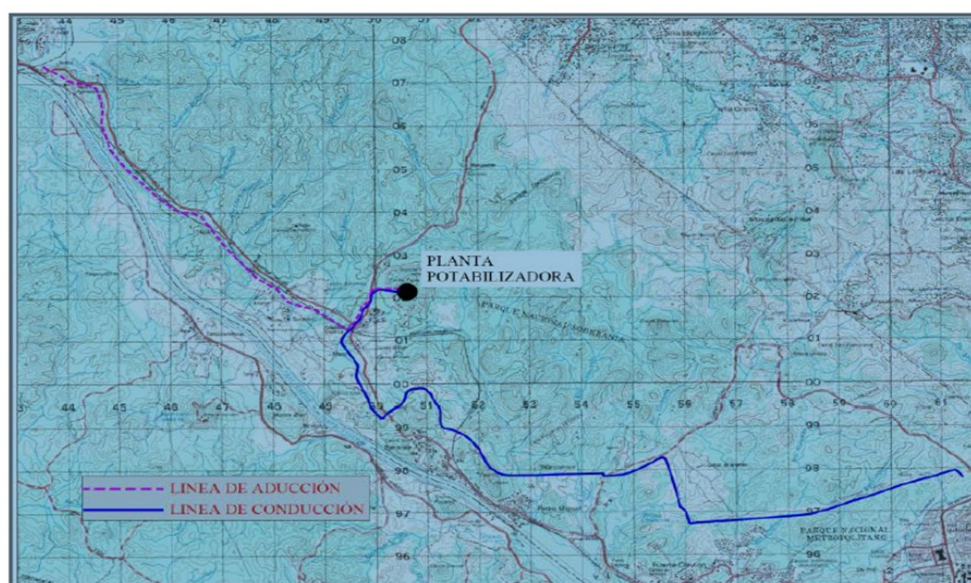


Figura. 4 <https://docs.google.com/forms/d/193vg65hh2vqXLVyiNbwj0MNg4FT4o-m0RIo0jR6kF1I/prefill>.

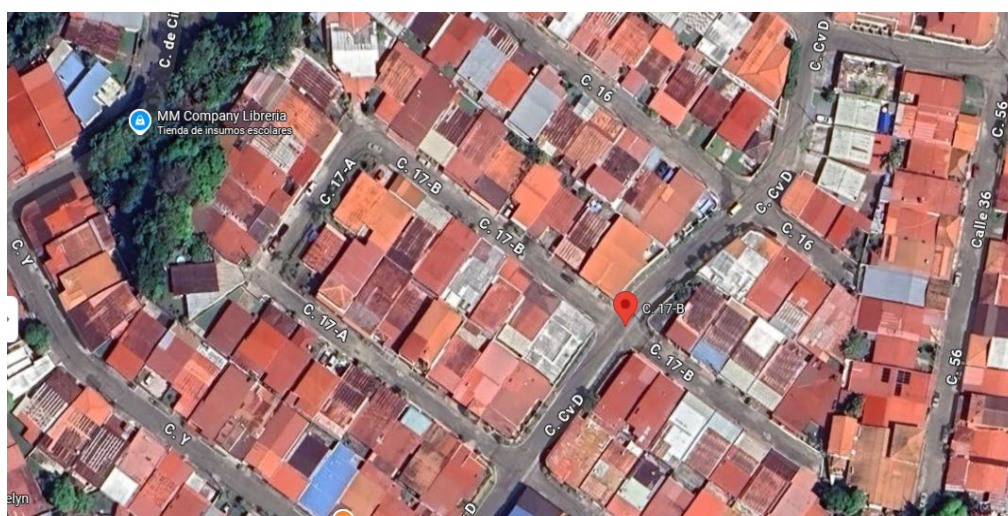


Figura. 5 Calle 17B casa 1556 donde se realizó el procedimiento de conteo y control de la termita *Nasutitermes corniger* al patógeno *Metarhizium anisopliae*.

1.5. Hipótesis General del Trabajo

En el desarrollo de esta investigación se presenta las hipótesis, la cual pretende responder esas variables planteadas, las mismas corresponder a la Hi (hipótesis del trabajo) H0 (hipótesis nula). A continuación, se presentan las hipótesis de esta investigación.

1.5.1. Hipótesis del Trabajo (Hi)

Hi: El nido de la (familia: Termitidae) posee protección y resistencia contra el patógeno *Metarhizium anisopliae* (Familia: Clavicipitaceae). En un ambiente controlado.

1.5.2. Hipótesis Nula (HO)

Ho: El nido de la (familia: Termitidae) no posee protección y resistencia contra el patógeno *Metarhizium anisopliae* (Familia: Clavicipitaceae). En un ambiente controlado.

1.6. Restricciones y/o Limitaciones

Si bien el estudio ofrece información valiosa sobre la resistencia de *Nasutitermes corniger* a *M. anisopliae*, existen diversas limitaciones que podrían influir en los resultados y su interpretación:

1. Variabilidad ambiental

- ✂ Factores como la temperatura, la humedad y la composición del suelo pueden afectar la viabilidad del hongo y la estructura del nido.

2. Dificultades en la manipulación de colonias

- ✂ Extraer y manipular termitas sin alterar su comportamiento o la integridad del nido representa un desafío.

3. Interacciones biológicas complejas

- ✂ La presencia de microorganismos simbiotes en el nido puede afectar la resistencia de las

termitas, dificultando la evaluación del efecto aislado de *M. anisopliae*.

- ✂ Depredadores o especies competidoras pueden modificar la dinámica de la colonia y su reacción ante el patógeno.

4. Efectividad variable del hongo como biocontrolador.

- ✂ Diferentes cepas de *M. anisopliae* pueden presentar variaciones en su virulencia, lo que influye en los niveles de mortalidad de las termitas.
- ✂ Las termitas podrían desarrollar resistencia o estrategias defensivas frente al hongo en estudios a largo plazo, reduciendo su efectividad.

A pesar de estas limitaciones, la investigación permitirá información clave para mejorar las estrategias de control biológico de termitas, optimizando el uso de hongos entomopatógenos obtenidos en distintos ecosistemas.

1.7. Importancia

La investigación sobre el *Efecto de la presencia del nido de Nasutitermes corniger (Isóptera: Termitidae) sobre la resistencia al patógeno Metarhizium anisopliae (Hypocreales: Clavicipitaceae)* aporta conocimientos fundamentales en el campo del control biológico y la ecología de los insectos sociales. Su importancia radica en la comprensión de cómo la estructura social y el entorno de las termitas pueden influir en su resistencia a patógenos entomopatógenos, lo que representa un avance significativo en el manejo de plagas y la conservación de ecosistemas.

Entre los principales aportes de esta investigación, se destaca la identificación del papel del nido como un factor clave en la inmunidad de las termitas. Se evidencia que la presencia del nido puede aumentar la resistencia de los individuos a infecciones fúngicas, lo que apunta

que las condiciones micro ambientales y las interacciones sociales dentro de la colonia pueden desempeñar un papel protector contra enfermedades.

Asimismo, este estudio contribuye a la optimización del uso de *Metarhizium anisopliae* como agente de control biológico, al proporcionar información sobre la efectividad del hongo en diferentes contextos ecológicos. Los resultados pueden ser aplicados en estrategias de manejo integrado de plagas, permitiendo un uso más, eficiente de los bioinsecticidas en programas de control de termitas y otros insectos sociales.

Desde una perspectiva ecológica, la investigación, también, profundiza en la dinámica de las interacciones entre *Nasutitermes corniger* y otros organismos de su entorno, incluyendo sus relaciones con bacterias, hongos y depredadores.

Al comprender cómo estos factores influyen en la resistencia a patógenos, se pueden desarrollar nuevas estrategias de conservación y regulación de especies dentro de su hábitat natural.

En términos aplicados, los descubrimientos pueden tener implicaciones en la agricultura y la silvicultura, donde las termitas pueden representar tanto beneficios como amenazas. La información generada permitirá diseñar métodos de control, más sostenibles, reduciendo la dependencia de pesticidas químicos y promoviendo enfoques más ecológicos y selectivos.

Este estudio ofrece una visión integral sobre la relación entre los nidos de *Nasutitermes corniger* y la resistencia a *Metarhizium anisopliae*, brindando conocimientos valiosos para el control biológico, la ecología de los insectos sociales y la gestión sostenible de plagas en diversos ecosistemas.

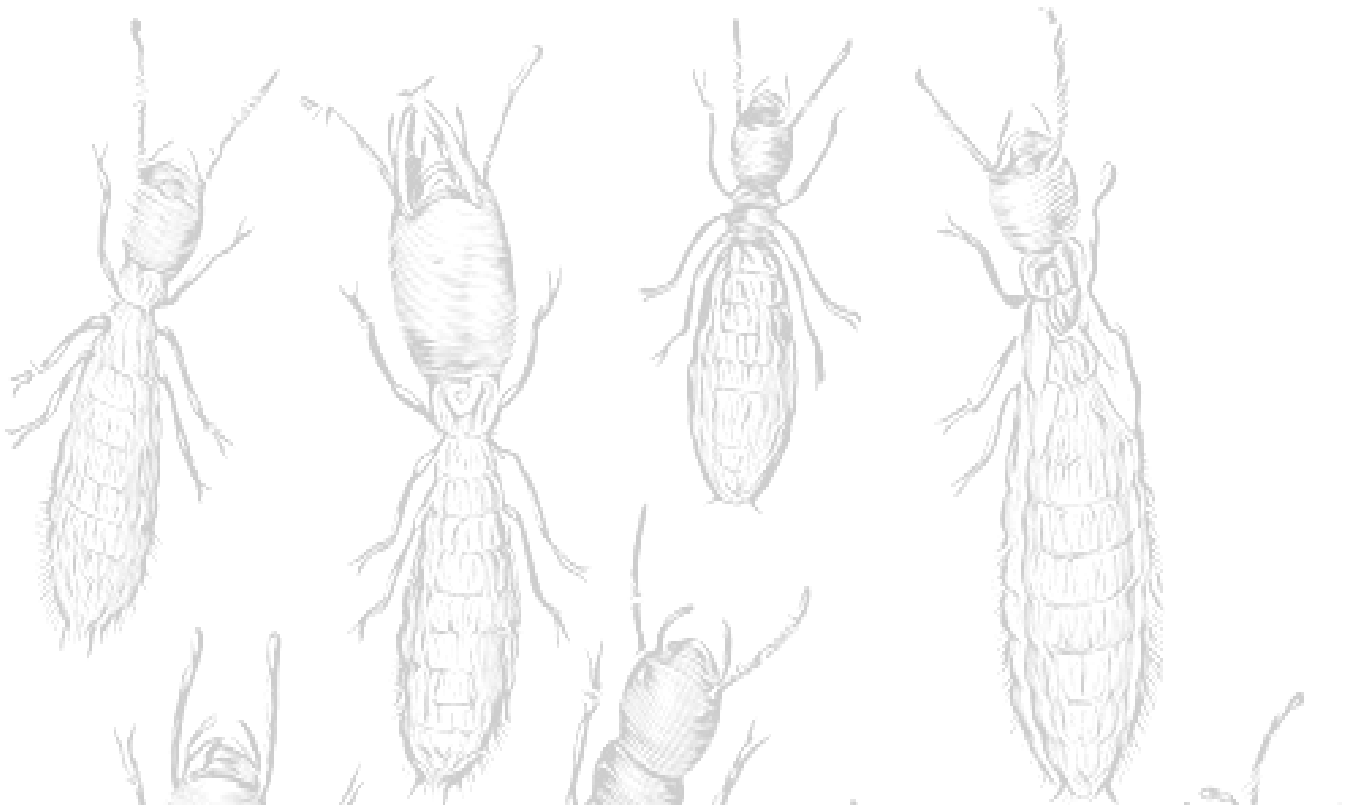
1.7.1. Importancia de la Investigación

- ✂ **Comprensión del Control Biológico:** La investigación contribuye al conocimiento sobre el uso de *Metarhizium anisopliae* como agente de BioControl, permitiendo su aplicación más eficiente en la regulación de plagas.
- ✂ **Estudio de la Inmunidad en Insectos Sociales:** Analiza cómo la estructura social y el entorno de las termitas influyen en su resistencia a enfermedades, lo que amplía el entendimiento de sus mecanismos de defensa.
- ✂ **Impacto en el Manejo de Plagas:** Proporciona información clave para el desarrollo de estrategias de control de termitas, minimizando el uso de pesticidas químicos y fomentando alternativas ecológicas.
- ✂ **Relevancia en la Ecología y la Conservación:** Profundiza en la interacción entre *Nasutitermes corniger* y otros organismos de su entorno, permitiendo una mejor comprensión de su papel ecológico.
- ✂ **Aplicaciones en Agricultura y Silvicultura:** La información generada puede ser utilizada para diseñar métodos de control de termitas en cultivos y bosques, reduciendo daños y promoviendo la sostenibilidad.

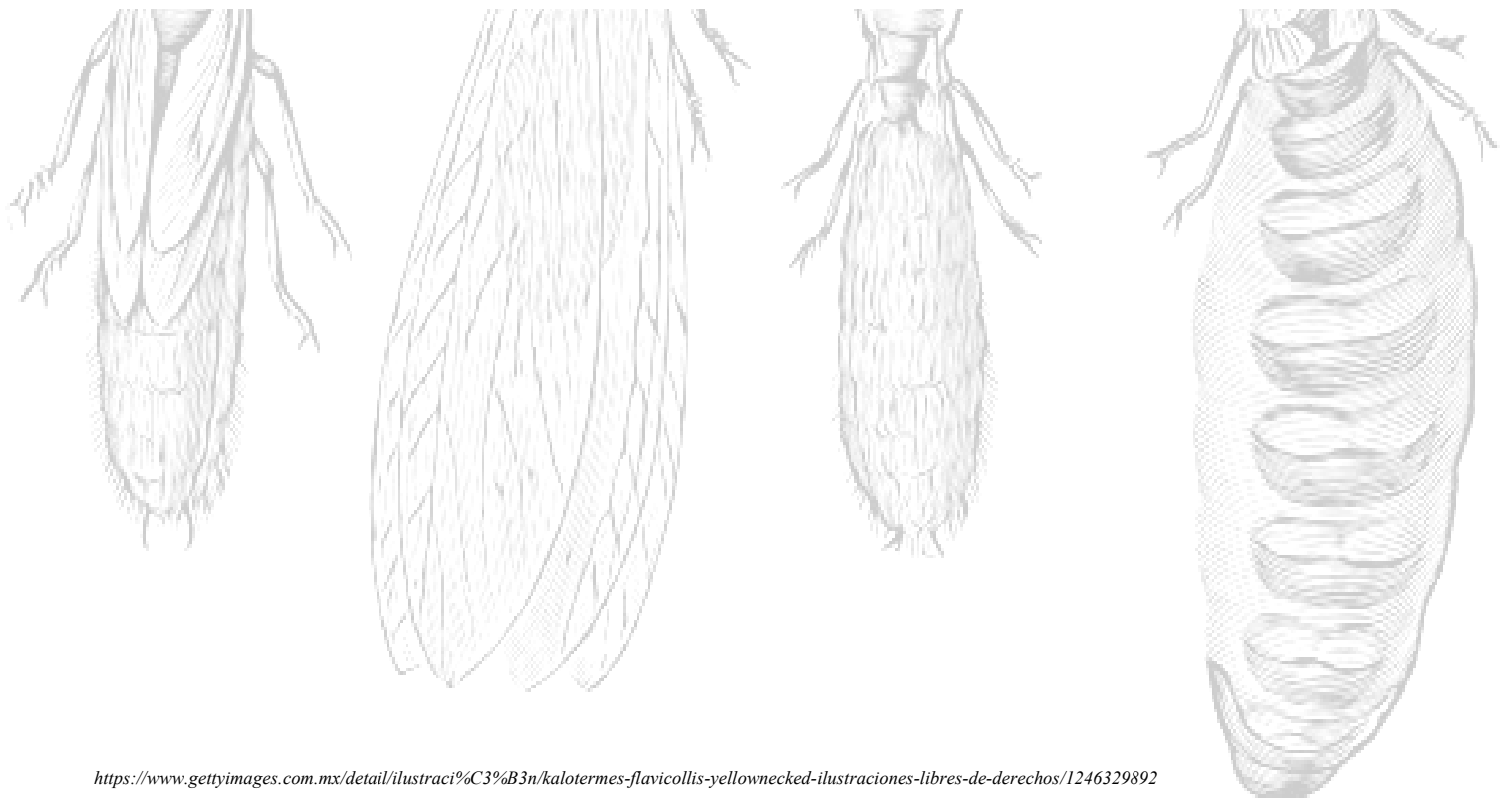
1.7.2. Aportes

- ✂ **Identificación del Nido como Factor Protector:** Se demuestra que la presencia del nido influye en la resistencia de las termitas a infecciones fúngicas, resaltando su función como barrera natural contra patógenos.
- ✂ **Optimización del Uso de *Metarhizium anisopliae*:** Se generan datos sobre la efectividad del hongo en distintos contextos, permitiendo mejorar su aplicación en el control biológico de plagas.
- ✂ **Contribución a la Entomología y la Microbiología:** Proporciona información valiosa sobre la interacción entre hongos entomopatógenos y termitas, enriqueciendo el conocimiento en estas disciplinas.
- ✂ **Desarrollo de Estrategias de Control Sostenibles:** Los resultados pueden ser utilizados para diseñar programas de manejo integrado de plagas que reduzcan el impacto ambiental y económico del uso de pesticidas.
- ✂ **Exploración de Adaptaciones Sociales en Termitas:** Se profundiza en los mecanismos de defensa colectivos de *Nasutitermes corniger*, aportando a la comprensión del comportamiento eusocial en insectos.
- ✂ **Identificación del nido como Factor Protector:** Se demuestra que la presencia del nido tiene un impacto significativo en la resistencia de *Nasutitermes corniger* a infecciones por *Metarhizium anisopliae*.
- ✂ **Optimización del uso de *Metarhizium anisopliae*:** La investigación contribuye a mejorar la aplicación de *Metarhizium anisopliae* como agente de control biológico, proporcionando información sobre su efectividad en diferentes condiciones ecológicas

- ✦ **Contribución a la Entomología y la Microbiología:** Se generan nuevos conocimientos sobre la interacción entre hongos entomopatógenos y termitas, enriqueciendo el campo de la entomología y la microbiología.
- ✦ **Desarrollo de Estrategias de Control Sostenibles:** Los hallazgos de esta investigación pueden ser utilizados para desarrollar programas de manejo integrado de plagas más sostenibles.
- ✦ **Exploración de Adaptaciones Sociales en Termitas:** Se profundiza en el estudio de los mecanismos de defensa colectivos de *Nasutitermes corniger*, destacando la importancia del comportamiento eusocial en la protección de la colonia.



CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA



2. Historia de las Termitas

Las termitas comprenden más de 3.000 especies, la mayoría de las cuales desempeñan un papel clave en los ecosistemas al descomponer la materia orgánica vegetal y contribuir al reciclaje de nutrientes en el suelo. Sin embargo, un pequeño porcentaje de especies subterráneas pueden convertirse en plagas al alimentarse de estructuras de madera en edificaciones, postes, cercas y puentes, lo que genera daños de alto costo (Pest Management Professional, 2024).

Debido a su impacto económico, estas especies han sido objeto de numerosos estudios. Recientemente, un equipo internacional de 46 científicos presentó un nuevo y detallado sistema de clasificación para las termitas, proporcionando una mayor comprensión sobre este grupo de insectos, cuya importancia ecológica suele ser subestimada (University of Florida, 2024).

Según Hellemans en el último catálogo completo publicado sobre la fauna mundial de termitas, el **Tratado sobre los isópteros del mundo**, las termitas actuales se dividen en nueve familias: *Archotermopsidae*, *Hodotermitidae*, *Kalotermitidae*, *Mastotermitidae*, *Rhinotermitidae*, *Serritermitidae*, *Stolotermitidae*, *Stylotermitidae* y *Termitidae*. Posteriormente, se erigió una familia adicional para *Hodotermopsidae*.

Sin embargo, esta clasificación se ha revisado utilizando análisis a escala genómica, ya que se han identificado familias y subfamilias de termitas no monofiléticas, lo que significa que no todas las termitas contenidas en ellas evolucionaron a partir de un grupo ancestral común y no todos los descendientes de ese ancestro están incluidos en el grupo, así como muchos taxones superiores parafiléticos (grupos que contienen algunos, pero no todos, descendientes de un ancestro común) y polifiléticos (taxones que contienen organismos pero que carecen de un ancestro común) (Engel et al., 2009).

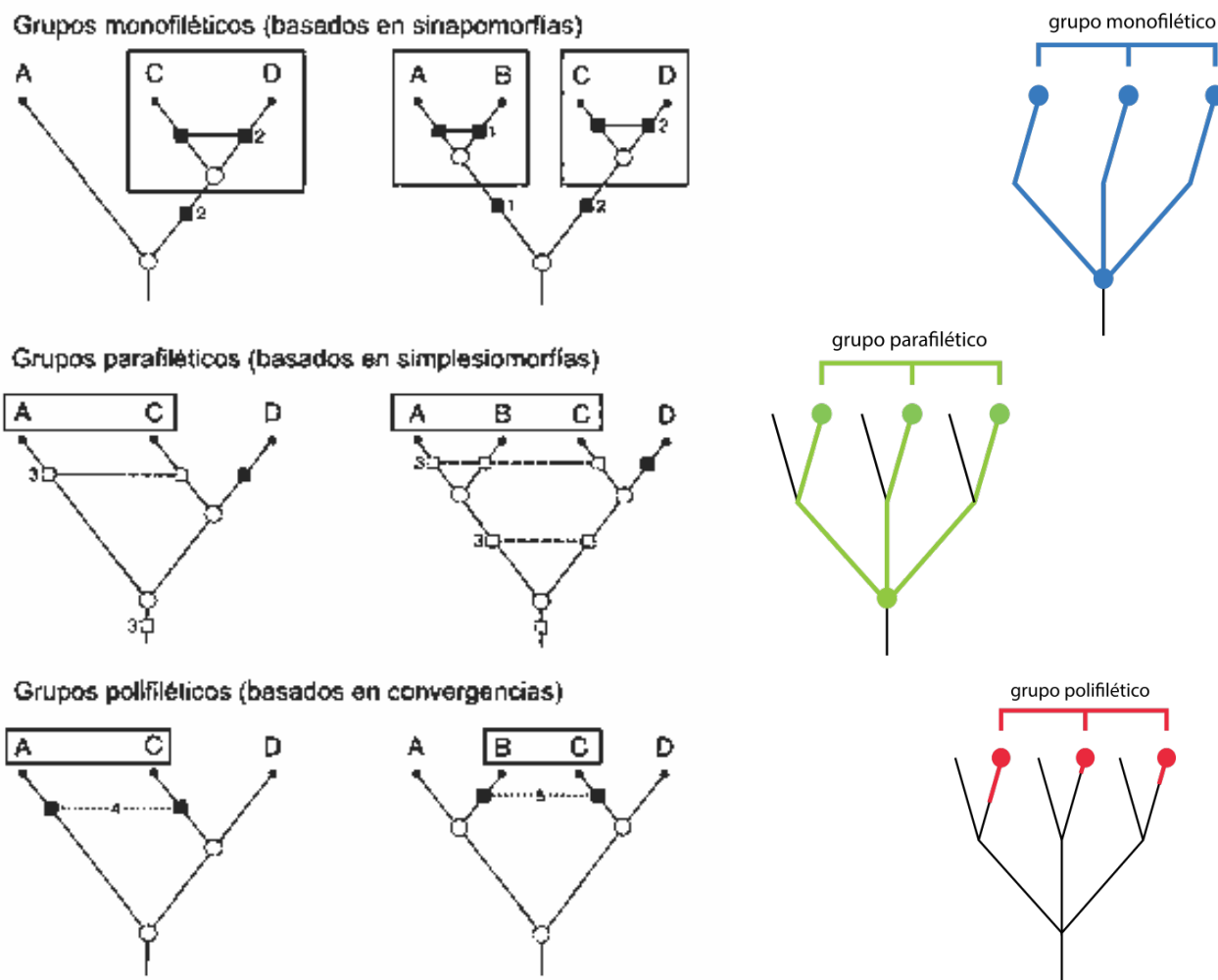


Figura. 6 Distinción entre grupos monofiléticos, parafiléticos y polifiléticos según Ax (1987)
https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Taxonomy_-_monophyletic,_paraphyletic_and_poliphyletic_groups.svg.

2.1. Reordenando las Termitas

El propósito de este estudio, publicado en *Nature Communications*, El ánimo de este estudio, publicado en *Nature Communications*, es repasar las termitas a nivel de familia y subfamilia utilizando separación a escala genómica y rentar zarpa catálogo robusto, compuesto exclusivamente por grupos monofiléticos.

Para ello, los investigadores inspeccionaron minuciosamente el palo de la subsistencia de las termitas mediante la cuenta de 30 árboles filogenéticos reconstruidos a partir de supermatrices de secuencias concatenadas y 21 árboles reconstruidos dentro del marco de coalescencia de múltiples especies.

El muestreo realizado incluye 135 especies de termitas y es fundamentalmente absoluto para *Termitinae* (Figura 7) y *Rhinotermitidae* (Figura 8). Esta partición filogenética integral brindan un marco consolidado para legitimar la taxonomía global estable y duradera de las termitas (Hellemans et al., 2024).

Por su modularidad, la separación de termitas está diseñada para adaptar especies, aunque no descritas, con afinidades inciertas con los linajes monofiléticos delimitados en el nuevo uso, en proceder de nuevas familias o subfamilias.



Figura. 7 *Termitinae*
<https://colombia.inaturalist.org/taxa/566675-Termitinae>



Figura. 8 *Rhinotermitidae*
<https://mexico.inaturalist.org/taxa/119932-Rhinotermitidae>

2.2. Filogenia

Las termitas son fáciles de reconocer de otros insectos, gracias a su morfología muy distintiva en cada una de sus castas, sin embargo, su posición filogenética ha sido ampliamente debatida.

Aunque muchas veces se les conoce como “*hormigas blancas*” estas no están emparentadas con ellas evolutivamente, si bien entre ambas presentan similitudes físicas, comportamiento organización en las castas y eusociales.

Estas pertenecen a los *Hymenoptera*, al que también, pertenecen las abejas y avispas evolutivamente alejado de las termitas. Estas forman su propio grupo llamado *Isóptera* cuya existencia es ampliamente debatida (Inward et al., 2007).

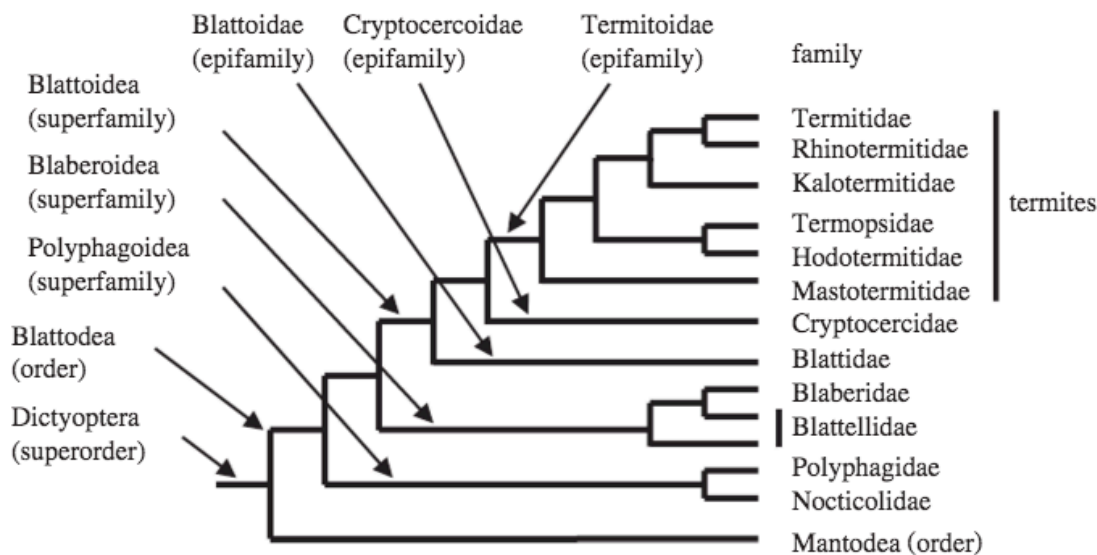


Figura. 9 Árbol filogenético propuesto por Inward y colaboradores (2007) El análisis de parsimonia del conjunto de datos alineados mostró que la monofilia de Hodotermitidae, Kalotermitidae y Termitidae estaba bien respaldada, mientras que Termopsidae y Rhinotermitidae eran parafiléticos en el cladograma estimado. Dentro de Termitidae, la familia más diversa y ecológicamente más importante, la monofilia de Macrotermitinae, Foraminitermitinae, Apicotermitinae, Syntermitinae y Nasutitermitinae estaban ampliamente respaldadas, pero Termitinae era parafilética.

2.3. Taxonomía

La clasificación taxonómica de los Isópteros se encuentra en constante evaluación. Los parientes más cercanos de las termitas son las cucarachas, pertenecientes al orden Blattodea. En efecto, su relación con las cucarachas que se alimentan de madera del género *Cryptocercus* es tan estrecha que se realizó un análisis genético en 2008, el cual determinó que los Isópteros deberían ser clasificados como un infraorden dentro del orden Blattodea, destacando que esta relación es monofilética (Figura 9).

No obstante, algunos investigadores defienden la continuidad de considerar a los Isópteros como un orden autónomo, al igual que se ha hecho hasta la fecha, aunque sugieren su inclusión en un superorden ya sea Blattodea o Blatopteroide, como mencionan Inward y colaboradores en su estudio. (Inward et al., 2007).

2.3.1. Cladograma Resumen de Isóptera.

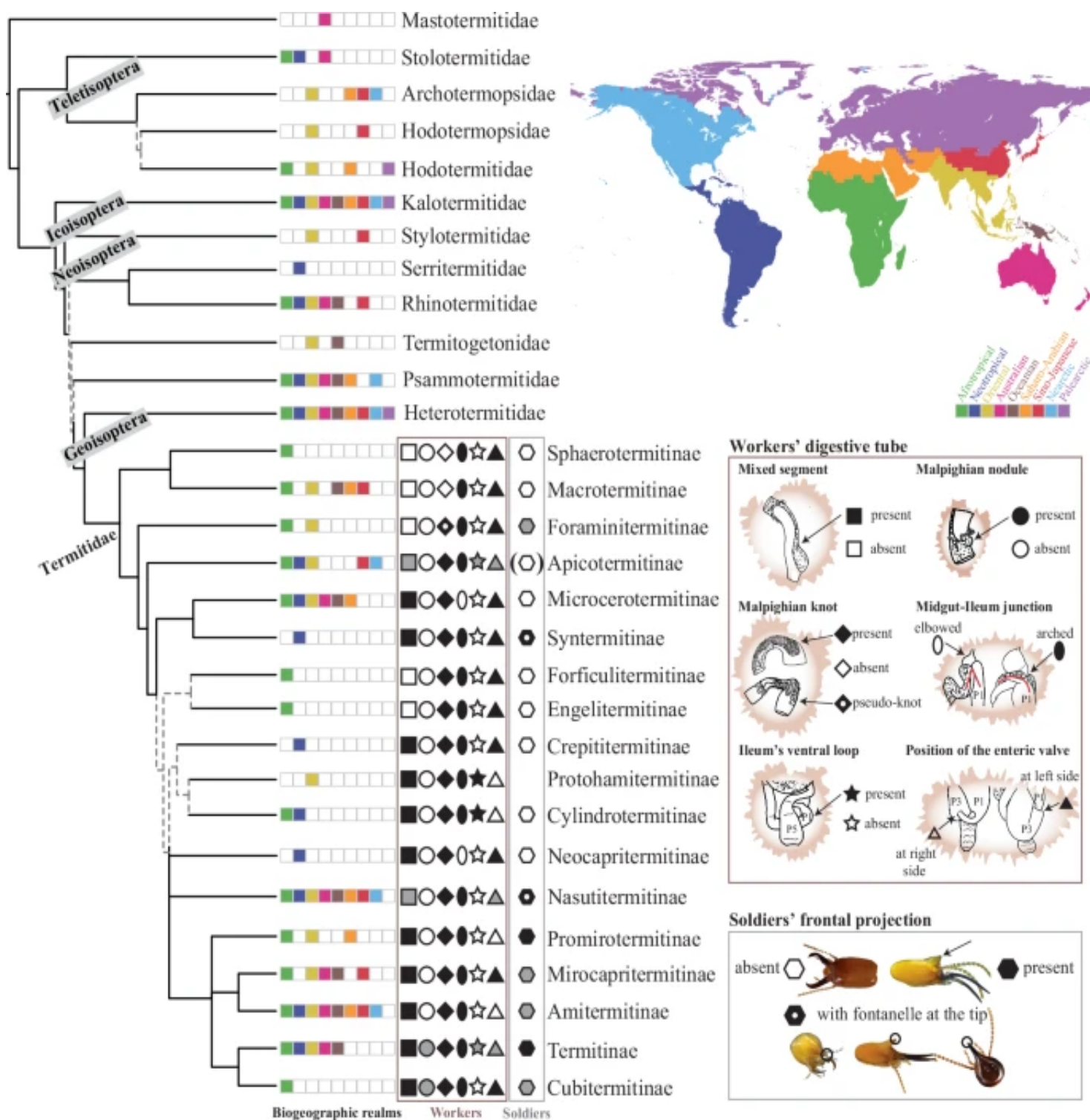


Figura. 10 Cladograma resumido de Isóptera / Gráficos: M. M. Rocha; R. H. Scheffrahn; J. Šobotnik.

2.4. Clasificación

La clasificación estaría constituida por las familias:

- *Mastotermitidae*,
- *Hodotermitidae*,
- *Hodotermopsidae*,
- *Archotermopsidae*,
- *Stolotermitidae* (subfamilias *Porotermitinae*, *Stolotermitinae*)
- *Kalotermitidae*,
- *Stylotermitidae*,
- *Serritermitidae*,

La anterior *Rhinotermitidae* se convierte en las familias:

- *Termitogetonidae*,
- *Psammotermitidae* (subfamilias *Prorhinotermitinae*, *Psammotermitinae*),
- *Rhinotermitidae*,
- *Heterotermitidae*,

La anterior *Termitinae* se convierte en:

- *Termitidae* (subfamilias *Sphaerotermitinae*, *Macrotermitinae*, *Foraminitermitinae*, *Apicotermitinae*, ***Nasutitermitinae***, *Syntermitinae*, *Microcerotermitinae*, *Amitermitinae*, *Crepititermitinae*, *Cylindrotermitinae*, *Forficulitermitinae*, *Mirocapritermitinae*, *Neocapritermitinae*, *Protohamitermitinae*, *Promirotermitinae*, *Termitinae*, *Cubitermitinae*, *Engelitermitinae*).

De acuerdo con los autores, la reciente clasificación resalta la variedad existente entre las termitas y proporciona una mayor exactitud en la investigación y el manejo de las termitas que causan problemas, lo cual resulta esencial para desarrollar estrategias más efectivas en la gestión de estos insectos.

Un caso ilustrativo es la nueva familia de termitas subterráneas, *Heterotermitidae*, que incluye una gran cantidad de especies (plaga), a diferencia de la clasificación anterior, *Rhinotermitidae*, que comprende numerosas otras especies que no se consideran plagas.

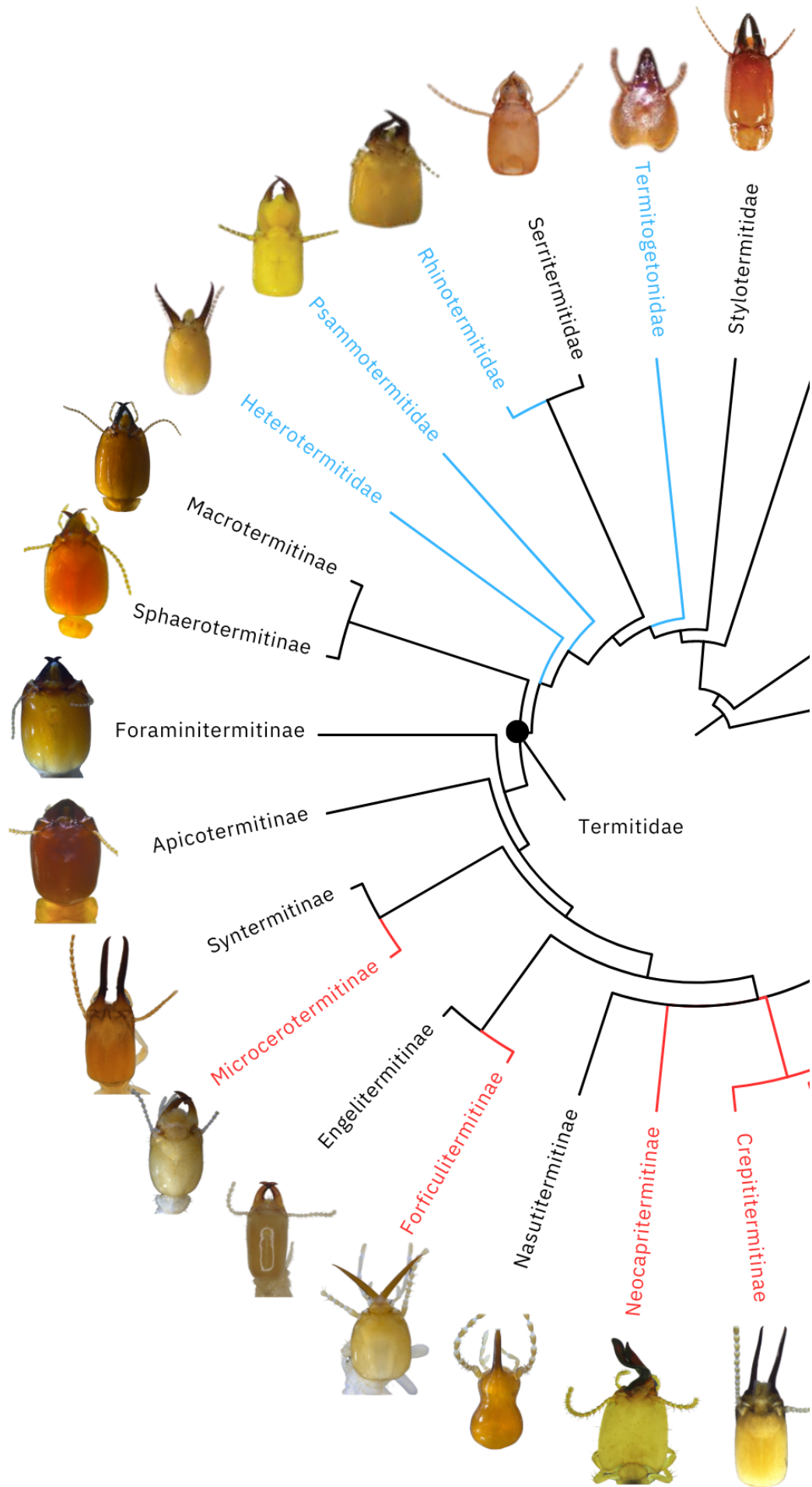


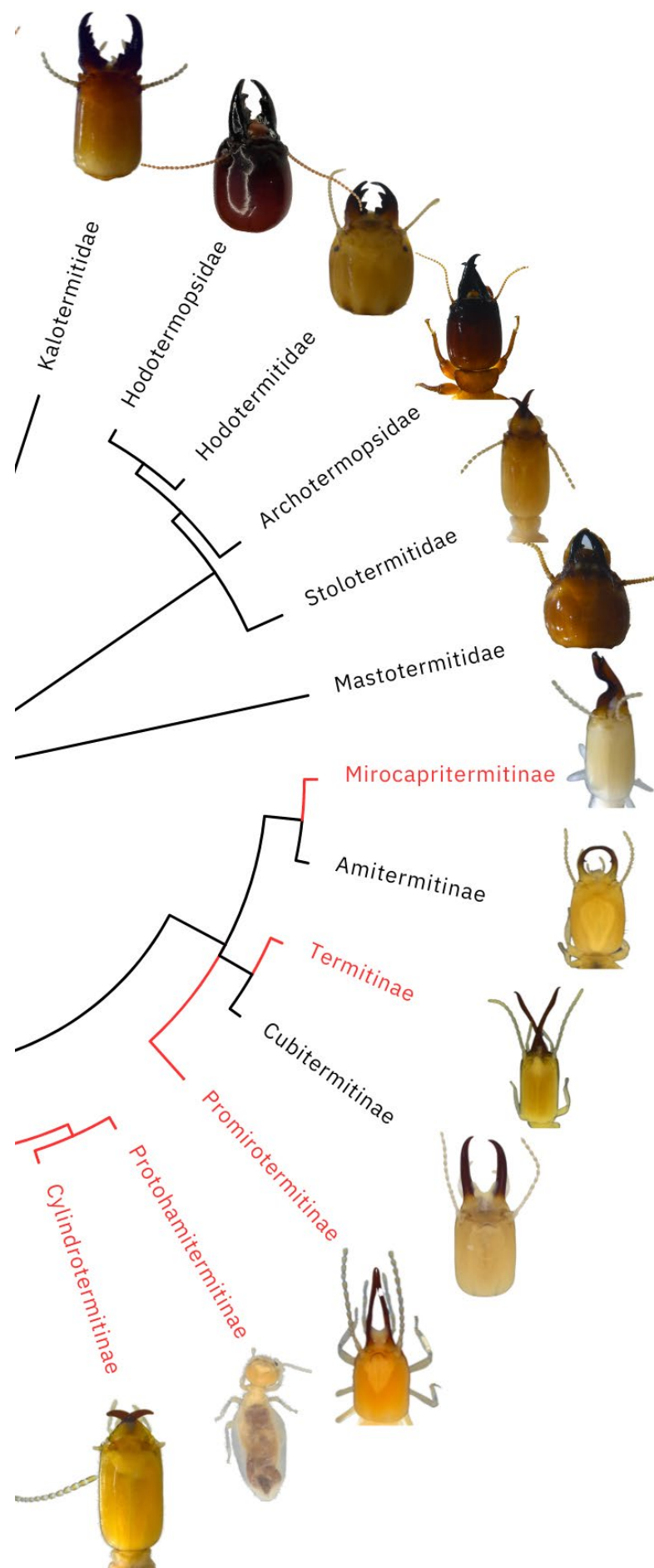
Figura. 11 Vuelo nupcial de las termitas aladas <https://bucek-lab.org/gallery/Heterotermitidae/>

2.5. Árbol de la vida

Las termitas, también denominadas *termes*, son insectos que exhiben un comportamiento social, habitando en colonias y creando estructuras denominadas termiteros. Aunque su apariencia y biología pueden asemejarse a las de las hormigas, las termitas no guardan relación con estas últimas; en cambio, desde un punto de vista filogenético, están mucho más emparentadas con las cucarachas y las mantis.

Como lo hace notar Hellemans et al., (2024), el nuevo árbol de la vida de las familias y subfamilias de termitas. Cada ramificación indica una división entre familias y subfamilias a partir de su último ancestro común. Las ramas rojas son subfamilias que anteriormente se definieron como Termitinae, mientras que las ramas azules se definieron anteriormente como Rhinotermitidae.





Fotos de termitas cortesía
 de TF Carrijo, P. Eggleton, G.
 Josens, S. Hellemans, CM
 Kalleshwaraswamy, MM Rocha,
 RH Scheffrahn
 (<https://www.termitediversity.org>)
 y J. Šobotník

2.6. Marco Teórico

Para profundizar sobre algunos aspectos específicos acerca del tema se ofrece el Marco Teórico que fundamenta el estudio investigativo acerca de las termitas *Nasutitermes corniger* (Isóptera: Termitidae) su clasificación, taxonomía y el patógeno *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae) su clasificación, taxonomía, eficacia.

2.7. ¿Qué son, y Cómo son, ¿Las termitas?

Las termitas son insectos que poseen un tipo de boca masticadora. Se clasifican dentro de un grupo taxonómico denominado Isóptera, que se traduce como "alas iguales", debido a que sus dos pares de alas membranosas, cuando están presentes, son semejantes en tamaño y forma. Su tamaño varía entre 4 y 15 mm. Debido a su estilo de vida subterráneo o en colonias, carecen de ojos o estos se encuentran significativamente reducidos, aunque los reyes, como será explicado más adelante, poseen ojos de forma inicial. Otras especies presentan ojos compuestos y ocelos (Krishna et al., 2013).

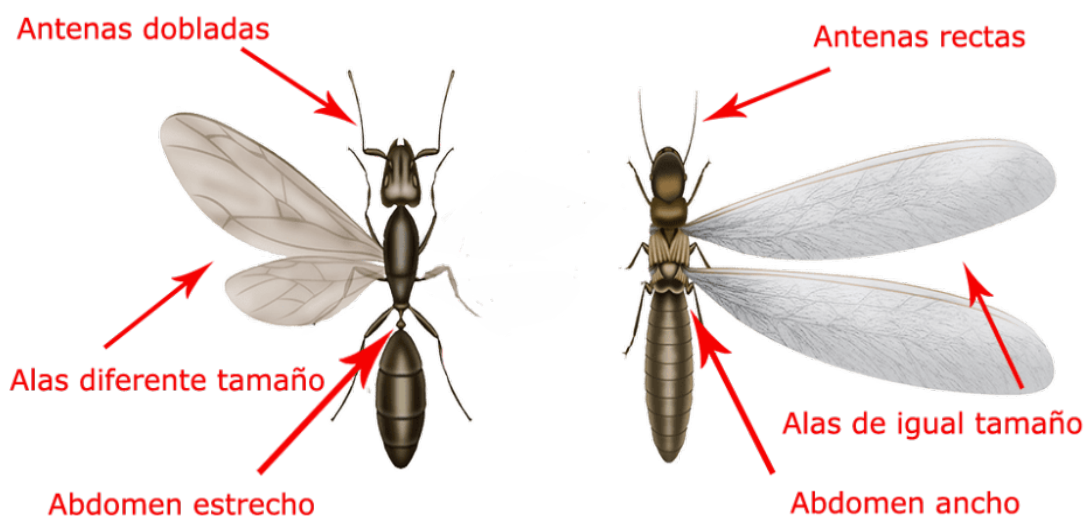


Figura. 12 Diferencias entre las hormigas aladas y las termitas aladas <https://exprodim.com/hormiga-y-termita/>

Con el fin de compensar su falta de visión, las termitas poseen en sus antenas una variedad de receptores sensoriales que les permiten detectar sabores, tacto, olores, temperatura y vibraciones. Al igual que otros insectos, su anatomía se divide en tres partes distintas: protórax, mesotórax y metatórax, cada una de las cuales cuenta con un par de patas. Cuando están presentes, las alas se fijan en el mesotórax y el metatórax (Thorne, 1997).

Podremos observar las distinciones entre las hormigas y las termitas aladas (Cuadro 1), que generalmente muestran comportamientos similares al coincidir en sus períodos de actividad, lo que provoca a menudo que sean confundidas por su apariencia semejante.

Cuadro No 1 Diferencias entre las termitas y las hormigas

HORMIGAS	TERMITAS
☞ Tienen las alas de diferente tamaño	☞ Alas extendidas del mismo tamaño
☞ Sus alas son transparentes.	☞ Sus alas son opacas.
☞ Son de color negro.	☞ Sólo las termitas aladas son negras.
☞ Las antenas están dobladas.	☞ Sus antenas son rectas.
☞ Su cintura es estrecha.	☞ Su cintura es gruesa.

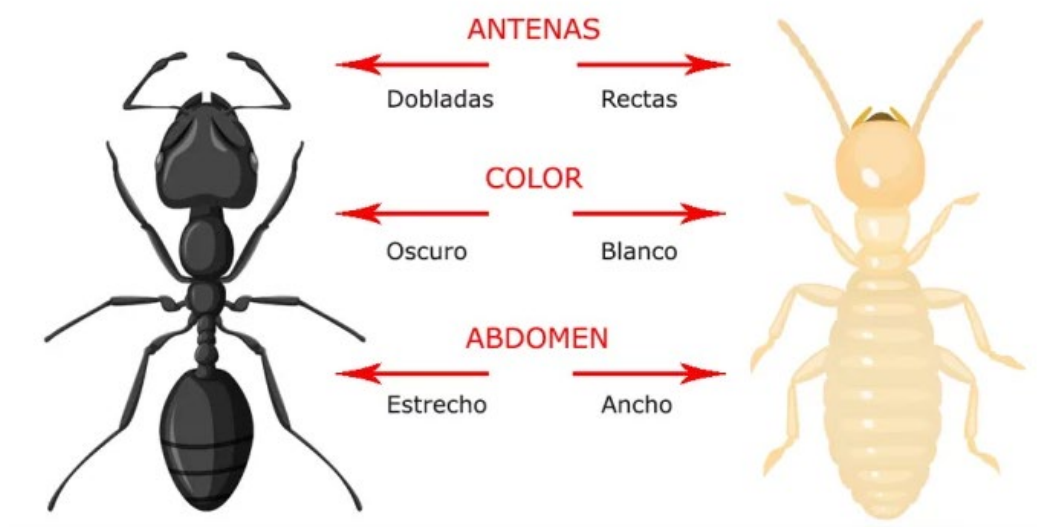


Figura. 13 Diferencias entre las Hormigas y las termitas (obreras)
<https://exprodim.com/hormiga-y-termita/>

El color de las termitas se presenta en una gama que varía desde un tono blanquecino hasta un marrón oscuro, dependiendo de la especie y la casta. El término anglosajón "white ants", podría acarrear un error de identificación, debido que las hormigas y las termitas poseen características muy diferentes y no deben ser confundidas.

Además del color, las termitas cuentan con un abdomen más voluminoso que exhibe un patrón alternado de segmentos oscuros y claros, mientras que las hormigas poseen una cintura muy estrecha que está ausente en las termitas, así como un abdomen corto y abultado (Nalepa, 2011).

2.8. *Nasutitermes corniger* (Motschulsky, 1855)

Diagnosis. Soldado. Longitud de 3-4 mm. En vista lateral, base del naso con una elevación de forma convexa, entre la elevación y el vértice, y cabeza en forma cóncava. Naso cónico con cuatro setas en su base y 4-7 pelos microscópicos en el tope de la cápsula de la cabeza. Antena con 13 artejos. Pronoto en forma de silla de montar, con 1-5 setas en la parte anterior o sin ellas. Obrera. Longitud de 4-5 mm. La morfología externa es muy semejante entre las especies de Termitidae. Ápteros, generalmente ciegos e inmaduros sexualmente, tanto machos como hembras pueden ser obreras. Casta poco esclerosada.

A continuación, notaremos caracteres morfológicos (Figura 14) adicional una clave dicotómica, que es una herramienta utilizada para distinguir una especie de otra (Thorne, Barbara L. 1980).

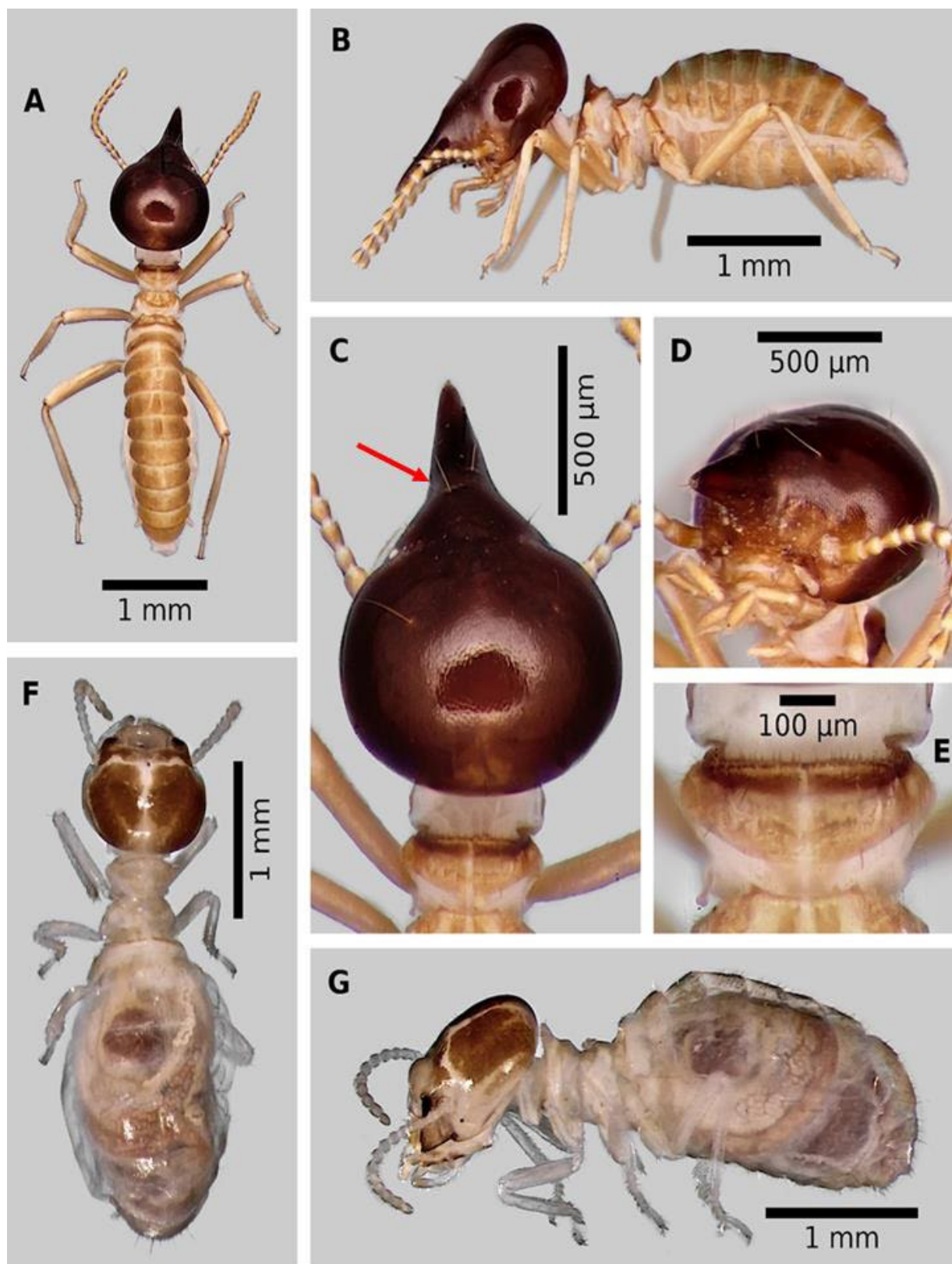


Figura. 14 *Nasutitermes corniger*, A) vista dorsal de soldado, B) vista lateral de soldado, C) cabeza y naso con cuatro sedas, D) fontanela, E) pronoto, F-G) vista dorsal y lateral de obrera. Fuente: (Capetillo-Concepción et al.2023)

2.8.1. Clave Dicotómica para las especies de termitas soldados

1. Cabeza proyectada en forma de cono; pronoto en vista lateral en forma de silla de montar..... Termitidae.....5
- Cabeza sin proyectarse en forma de cono; pronoto de forma variable2
- 2(1) Pronoto igual o más ancho que la cabeza en vista dorsal; cabeza corta, subcuadrada.....*Kalotermitidae*
- labro ancho subcuadrado con grupos de setas larga en la parte media*Incisitermes snyderi* (Light)
- .Pronoto más angosto que la cabeza en vista dorsal.....3
- 3(2). Mandíbulas con dientes o modificaciones en forma de dientes en el margen interno.....Termitidae
- pronoto con el borde anterior con una depresión cóncava marcada en vista dorsal; labro subcircular con una línea blanca en forma de montículo en su parte media*Microcerotermes septentrionalis* Light
- . Mandíbulas sin dientes marginales prominentes, excepto por un ligero aserrado en la base de la mandíbula izquierda que se encuentra cubierto por el labro.....Rhinotermitidae.....4
- 4(3). Cabeza oblonga; labro subtriangular con un par de setas largas en la región apical*Coptotermes testaceus* (Linnaeus)

-. Cabeza más larga que ancha; labro oblongo con varias setas en la región apical
*Heterotermes convexinotatus* (Snyder)

5(1). Cápsula de la cabeza en forma de lira debido a una constricción detrás de la
 cavidad antenal.....*Tenuirostritermes
 briciae* (Snyder)

-. Cápsula de la cabeza oblonga sin constricción detrás de la cavidad
 antenal.....6

6(5). Soldados con mandíbulas desarrolladas y dientes marginales; naso con tubo
 frontal con numerosas setas cortas alrededor de la fontanela
*Cahualitermes intermedius* (Snyder)

-.Soldados con mandíbula vestigiales.....7

7(6). Naso cónico con cuatro setas en su
 base.....*Nasutitermes corniger* (Motschulsky)

-. Naso cónico con la punta de color rojizo-marrón, generalmente sin setas; cápsula de
 la cabeza con algunas setas dispersas*Nasutitermes nigriceps* (Haldeman)

2.8.2. Distribución General

Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, EE.UU., Guatemala, Guayana Francesa, Honduras, Nicaragua, Panamá, Trinidad y Tobago y Venezuela (Krishna et al., 2013). México: Campeche, Chiapas, Tabasco (Méndez & Equihua, 2001).

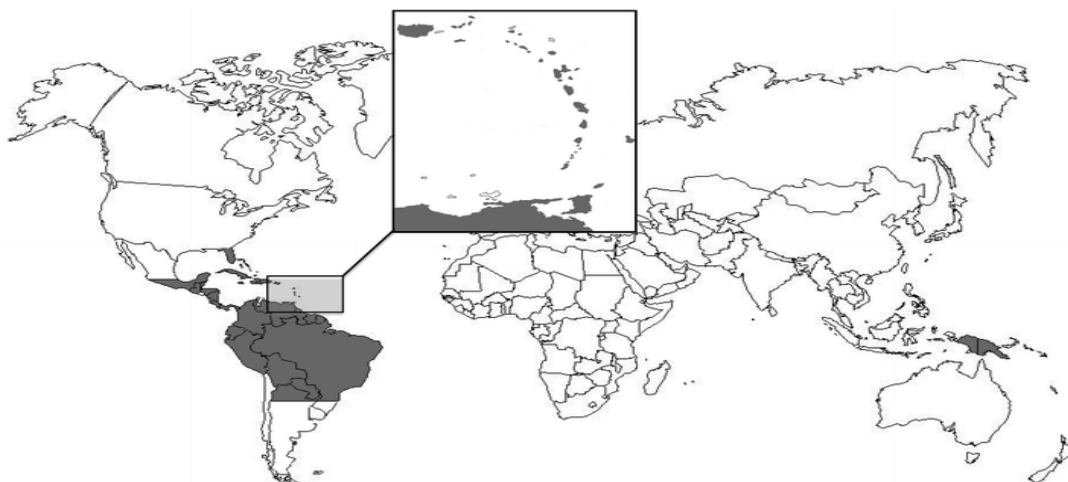


Figura. 15 Distribución geográfica de *Nasutitermes corniger*. Esta termita es originaria de América Central, del Sur y de las islas del Caribe y es invasora en las Bahamas, Florida y Nueva Guinea (Scheffrahn et al. 2005 a, b y Evans et al. 2013).

Las termitas son cosmopolitas: viven en todos los continentes, excepto en las regiones polares si bien son mucho más abundantes en las regiones tropicales, debido a los requerimientos de temperatura y humedad ideales para ellas.

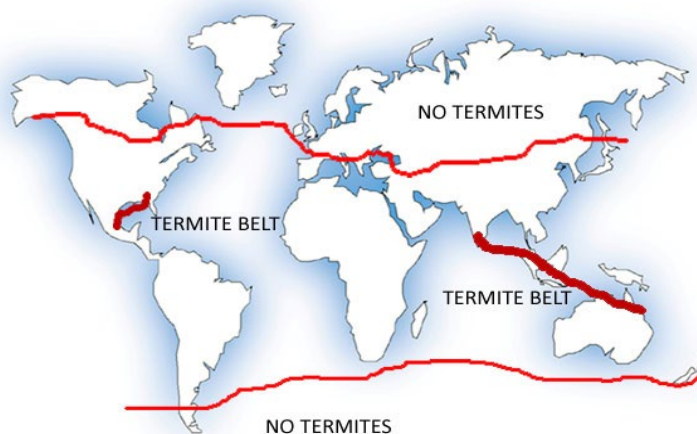


Figura. 16 Mapa de las Regiones polares donde no se encuentran termites. <https://www.fumix.org/termitas>

2.8.3. Una Monarquía Perfecta

2.8.3.1. Morfología

Las termitas, al igual que las hormigas, **están divididas en castas especializadas** de acuerdo con su papel en la colonia. Sin embargo, a diferencia de las hormigas se pueden encontrar machos y hembras en los tres tipos de castas.

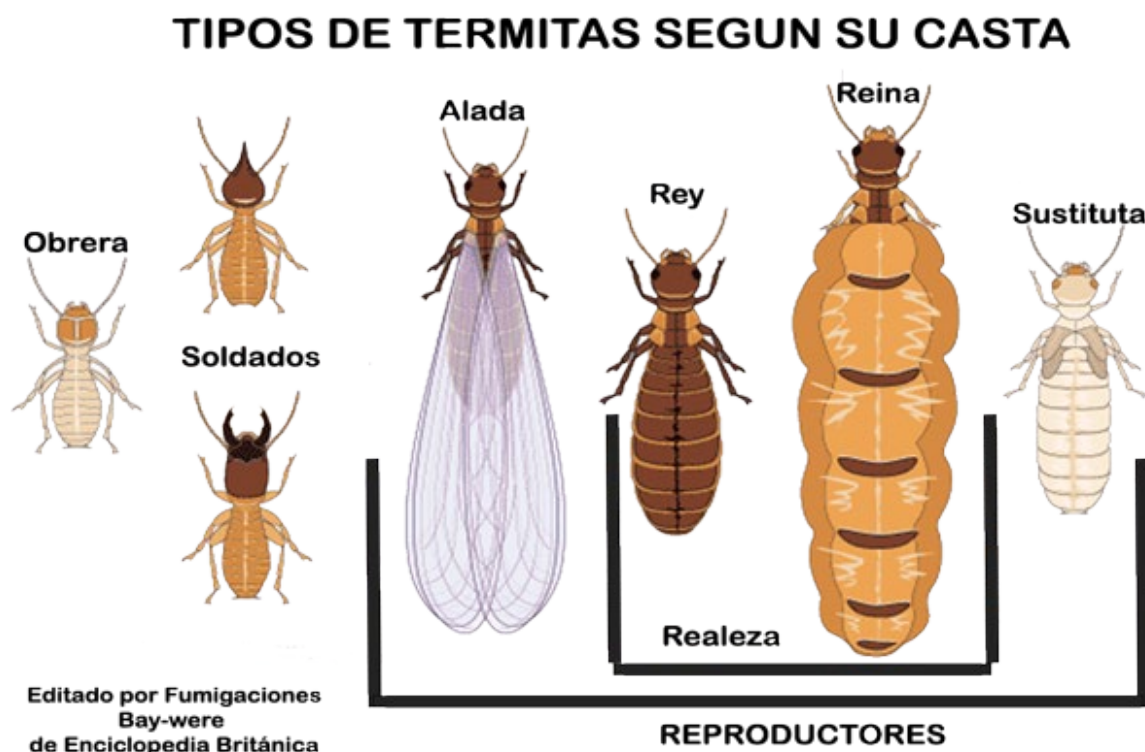


Figura. 17 Tipo de castas en las termitas <https://sixsa.es/plagas/tiene-plaga-de-termitas-o-carcoma-os-damos-las-claves-para-erradicarlas/>

2.8.3.2. Los Reproductores

Se pueden identificar dos tipos de reproductores: Los primarios, también conocidos como fundadores, y los suplementarios o neótenicos. Ambos se desarrollan a partir de las ninfas, que son estadios inmaduros que poseen rudimentos de alas y un aparato reproductor que funciona adecuadamente. **Los reproductores primarios son comúnmente referidos como rey o reina.**

Estos individuos alados son de mayor tamaño, presentan ojos, mandíbulas, y antenas cortas, además de ser notablemente más esclerotizados y oscuros en comparación con las otras castas. Al momento de establecer el nido, estos individuos pierden sus alas.

Los individuos reproductores secundarios surgen de las ninfas en caso de que los fundadores mueran o si una porción de la colonia se separa del grupo principal. En estos insectos, los órganos reproductivos se vuelven activos, complementados por otros cambios en su morfología, como la formación de ojos y el oscurecimiento de su cuerpo.

2.8.3.3. Las Obreras

Es la casta **más numerosa (80-90% de los ejemplares)** tienen la responsabilidad de proporcionar alimento a la colonia, además de encargarse del cuidado del nido. Su color es un amarillo suave y presentan un tamaño inferior al de los reproductores. Cuentan con una cabeza considerablemente grande y mandíbulas fuertes, y su sistema digestivo es notablemente amplio. Existen tanto machos como hembras entre las trabajadoras, sin embargo, sus órganos reproductivos no están operativos de manera rigurosa, las trabajadoras se hallan exclusivamente en el grupo de termitas más avanzadas (Termitidae).

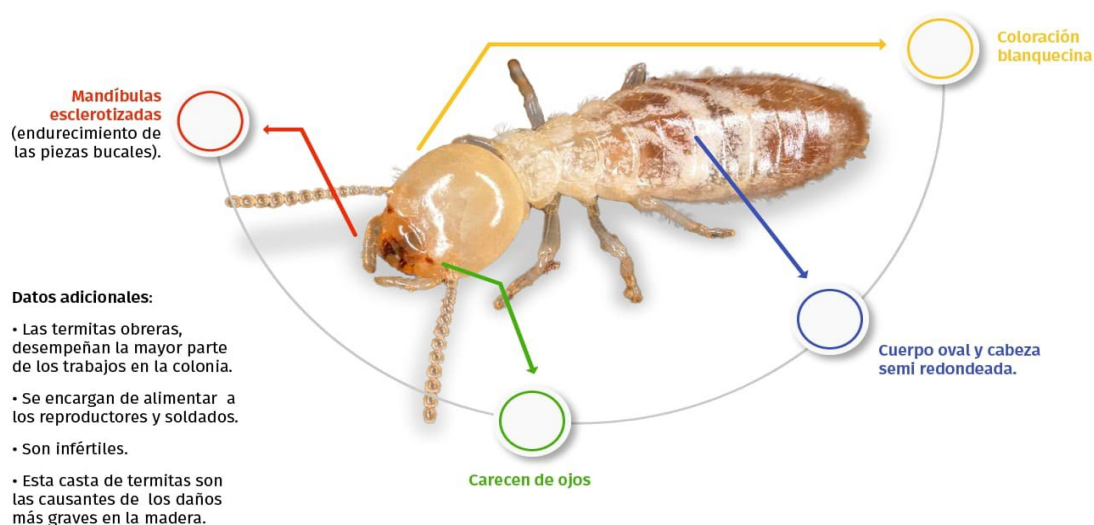


Figura. 18 Ejemplar de termita obrera <https://www.fumix.org/termitas>

En las más primitivas (familias *Rhinotermitidae* o *Kalotermitidae*) aparece otra casta conocida como las falsas obreras o pseudoergados originadas a partir de larvas o de ninfas y que son de tamaño algo más grande. En este grupo de termitas las funciones de las obreras las realizan los pseudoergados y las ninfas.

2.8.3.4. Los soldados

Se diferencian de las trabajadoras por su cabeza notablemente **desarrollada y endurecida**. Tienen la capacidad de presentar mandíbulas grandes (mandibulados), su cabeza puede adoptar una forma cónica con un apéndice al final (narigudos), o pueden carecer de mandíbulas y tener la cabeza plana en forma de ladrillo, que utilizan para bloquear las aberturas en los nidos. Ciertas especies cuentan en la cabeza con un orificio que les permite liberar una sustancia en su defensa contra los atacantes (Noirot Pasteels, 1987).

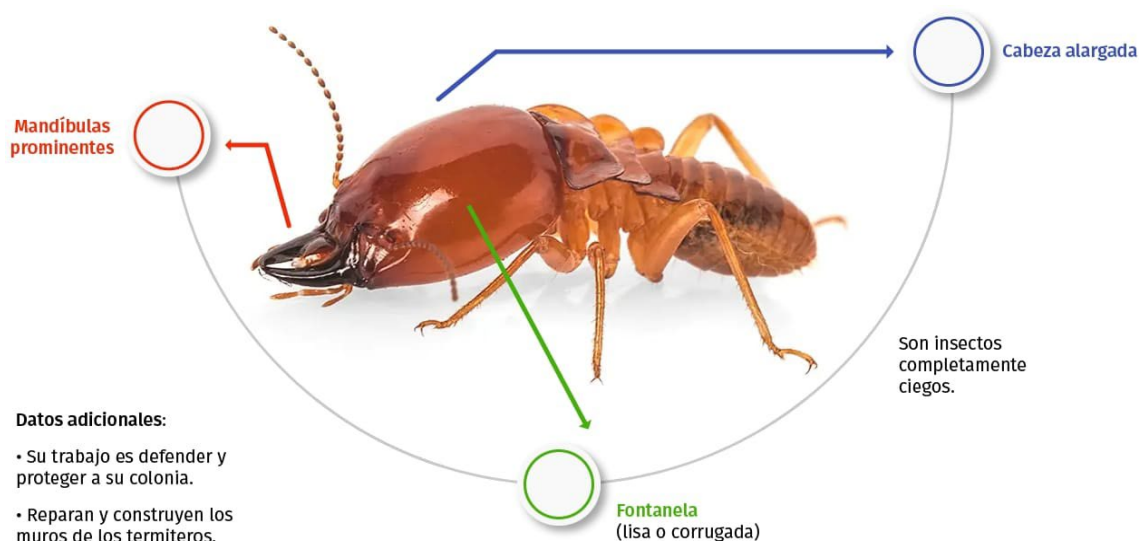


Figura. 19 Ejemplar de termita soldado <https://www.fumix.org/termitas>

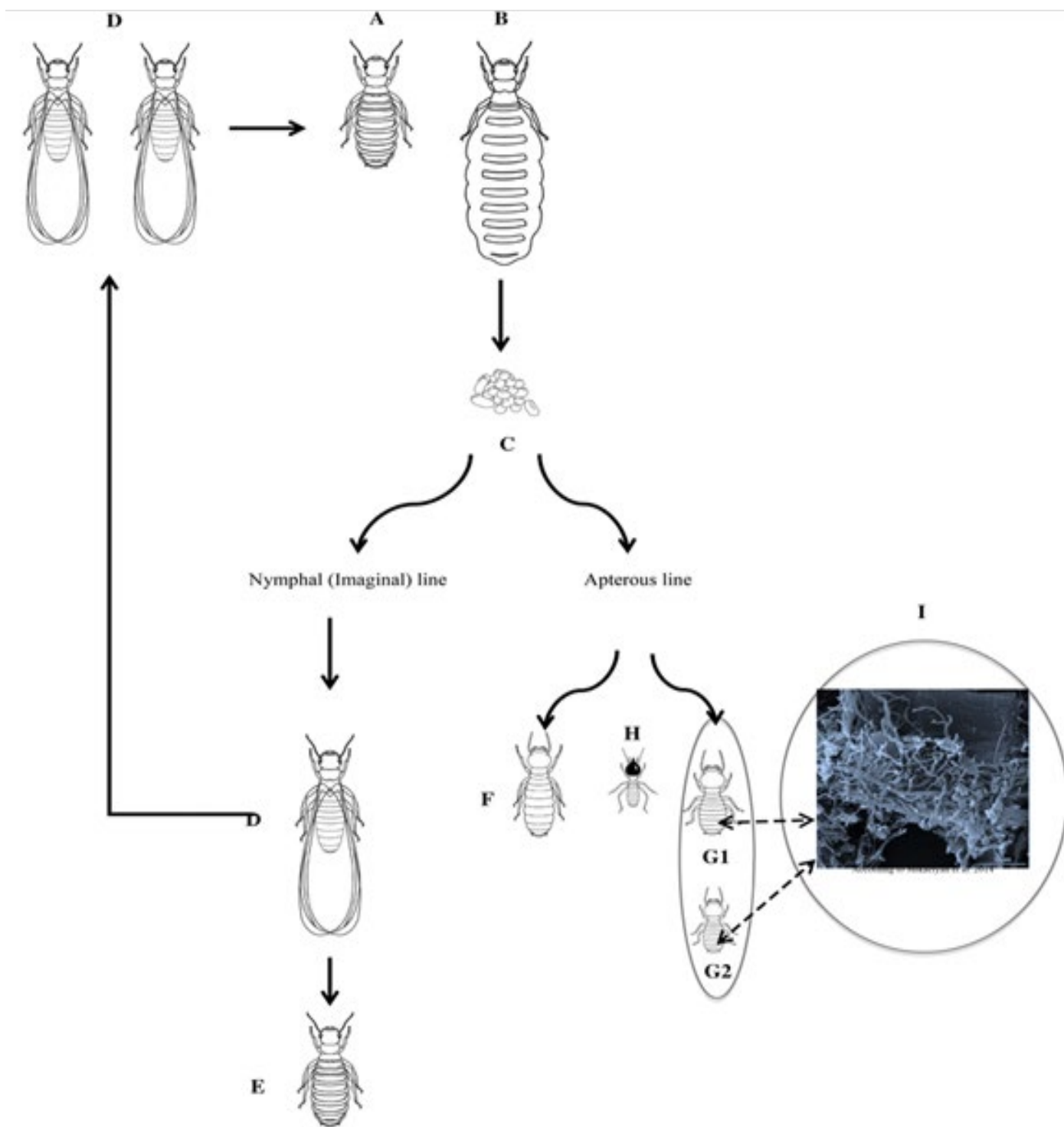


Figura. 20 Colonia de *Nasutitermes Corniger* con el rey (a), la reina (b), los huevos (c), las obreras aladas (d), las adultas (e), las ergatoideas (f), las grandes (G1) y las pequeñas (G2), las soldados (h) y el microbioma intestinal (fotografía según Mikaelyan et al. 2014) (i). Las flechas punteadas indican relaciones simbióticas. Los círculos grises indican los objetivos de todas las estrategias de manejo de plagas encontradas en la literatura

2.9. Patógeno *Metarhizium anisopliae*

(Hypocreales: Clavicipitaceae).

Metarhizium anisopliae (Figura 21) es un hongo entomopatógeno ampliamente estudiado debido a su potencial como agente de control biológico contra diversas especies de insectos plaga (Faria et al., 2007). Este organismo pertenece al orden Hypocreales y a la familia Clavicipitaceae, caracterizándose por su capacidad de infectar y matar a una variedad de insectos mediante un mecanismo de infección cuticular (Schneider et al., 2012). Su relevancia en el contexto agrícola y ecológico ha impulsado numerosas investigaciones sobre su ecología, fisiología y aplicaciones en el manejo integrado de plagas (Meyling et al., 2007).



Figura. 21 *Metarhizium anisopliae* utilizado en el muestreo como patógeno principal. Fuente: Fotografía Propia Andrea Maestre

2.9.1. Taxonomía y Características Morfológicas

Metarhizium anisopliae es un hongo filamentoso con conidios de color verde característico que forman colonias de crecimiento radial en medios de cultivo (Zimmermann, 2007). La esporulación ocurre en estructuras denominadas conidióforos, los cuales producen conidios uninucleados responsables de la infección de los hospedadores (St. Leger et al., 1992). A nivel molecular, se ha identificado una diversidad genética dentro de la especie, lo que ha llevado a la reclasificación de algunas cepas en especies crípticas (Kepler et al., 2014).

En medios de cultivo específicos, el hongo *Metarhizium anisopliae* crece formando un moho blanquecino el modo en que este hongo entomopatógeno trabaja consta de diferentes etapas.

- ✂ Inicia cuando las esporas Fúngicas microscópicas del hongo entran en contacto con las células de la epicutícula externa del insecto, estas se adhieren e hidratan.
- ✂ Las esporas germinan y penetran la cutícula del insecto.
- ✂ Una vez dentro, las hifas crecen destruyendo las estructuras internas del insecto y produciendo su muerte al cabo de unos días.

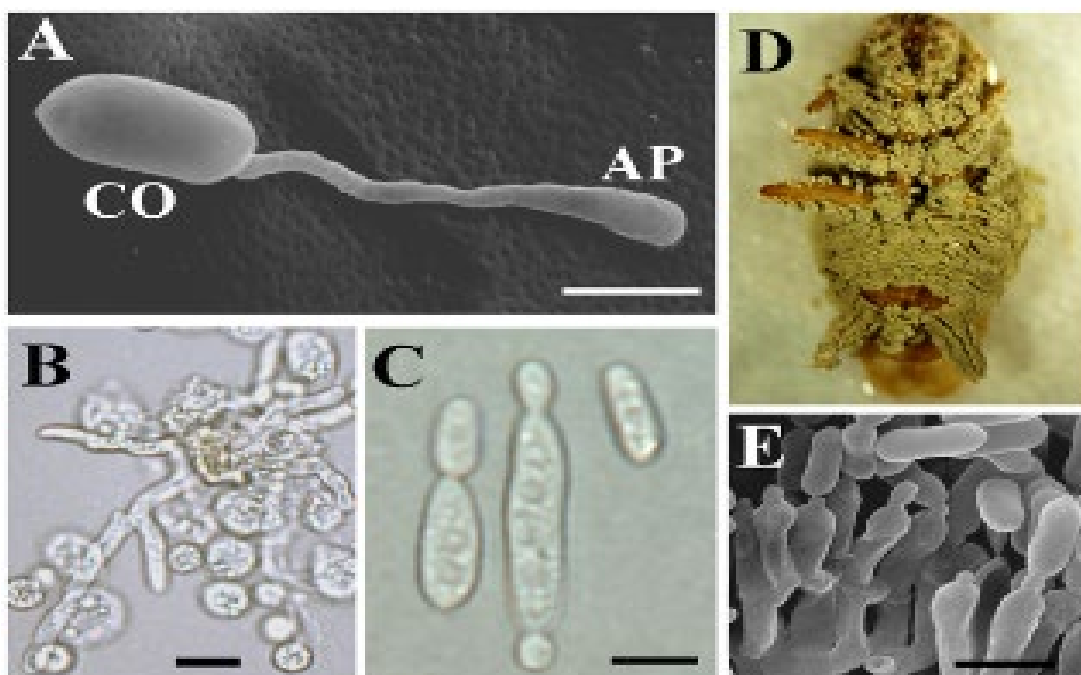


Figura. 22 Etapas principales del ciclo de infección de *Metarhizium* (A) Un conidio en germinación que produce un apesorio. (B) Micelios atacados por hemocitos tras la penetración cuticular. (C) Células de tipo levadura en gemación (blastosporas) producidas por el hongo para facilitar la dispersión en el hemocele del insecto. (D) Cadáver que muestra hifas emergentes que producen conidios (E). CO, conidio; AP, apesorio. Barra, 5 μ m. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1001264.g001>

Es muy probable que este efecto letal sea ayudado por la producción de péptidos cíclicos insecticidas (destruxinas). el hongo segrega una gran cantidad de enzimas las cuales se pueden incluir **proteasas, quitinasas, quitobiasas, lipasas, lipooxigenasas** y otras enzimas hidrolíticas, que van degenerando la cutícula y proporcionan los nutrientes que el hongo necesita (Monzón, 2001).

La mayoría de los insectos que viven cerca del suelo han desarrollado defensas naturales contra hongos entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae* este hongo, por lo tanto, está encerrado en una batalla evolutiva para superar estas defensas, lo que ha llevado a una gran cantidad de aislamientos (o cepas) que se adaptan a ciertos grupos de insectos (Freimoser et al. 2003).

2.9.2. Aplicaciones en el Control Biológico

El uso de *Metarhizium anisopliae* en el control biológico de plagas se ha documentado en diversas especies de insectos de importancia agrícola, como coleópteros, lepidópteros y dípteros (Inglis et al., 2001).

Su aplicabilidad se ha visto reforzada por su capacidad de persistencia en el ambiente y su especificidad en la infección de insectos plaga sin afectar organismos benéficos. Estudios han demostrado que formulaciones comerciales de *Metarhizium anisopliae* pueden ser efectivas en programas de manejo integrado de plagas (Lacey et al., 2015).

2.9.2.1. Factores que Afectan su Eficacia

La eficacia de *Metarhizium anisopliae* como un agente de control biológico se ve afectada por varias condiciones ambientales, tales como la temperatura, la humedad y el nivel de exposición a la radiación ultravioleta (Fernández et al., 2008).

La exposición prolongada a la luz solar puede afectar negativamente la viabilidad de sus conidios, lo que ha fomentado la creación de formulaciones que fortalezcan su estabilidad y resistencia. Asimismo, se han llevado a cabo investigaciones sobre su compatibilidad con productos agroquímicos y otros agentes de Bio Control con el objetivo de mejorar su uso en el campo (Mascarin et al. , 2013).

Por otro lado, aspectos como la humedad y la temperatura en el interior del nido pueden afectar la actividad de los hongos entomopatógenos, como *Metarhizium anisopliae*. La configuración interna del nido puede crear un entorno más o menos propicio para la proliferación del patógeno, lo que influye en la susceptibilidad de las termitas que allí residen. Estudios anteriores indican que estos hongos tienden a ser más efectivos en climas cálidos y húmedos, lo que podría depender de la presencia y las características del nido (Pugliese et al. , 2015).

2.9.3. Teorías y Enfoques Relevantes

Varias teorías pueden contribuir a la comprensión de la relación entre las termitas y los patógenos en este contexto:

2.9.3.1. Teoría de la Eficiencia de Defensa de Colonias Sociales

Según esta teoría, las colonias de insectos sociales, como las termitas, desarrollan estrategias colectivas de defensa contra patógenos que son más eficientes que las defensas individuales (Schmid-Hempel, 2005). Esto puede incluir el aislamiento de individuos infectados, el uso de productos antimicrobianos y el comportamiento de limpieza dentro del nido.

2.9.3.2. Teoría de la Coevolución de Insectos y Patógenos

La coevolución entre insectos y patógenos se refiere al proceso de adaptación mutua entre las especies. En el caso de *Nasutitermis coniger* y *Metarhizium anisopliae*, se puede postular que las termitas han desarrollado mecanismos de defensa contra el hongo, mientras que el patógeno ha evolucionado estrategias para superar estas defensas (Brown et al., 2000) se inscribe dentro de este marco evolutivo, analizando cómo la estructura del nido y el comportamiento social afectan la eficacia del hongo como agente de control biológico.

2.9.3.3. Teoría del Microbioma del Nido

Esta teoría indica que el microbioma presente en el nido de *Nasutitermis coniger* desempeña un papel significativo en la defensa contra agentes patógenos. Los nidos de las termitas contienen un microbiota diverso que podría funcionar como una barrera contra posibles patógenos, afectando la dinámica de las enfermedades (Jouquet et al. , 2011).

La investigación sobre la relación entre el nido de *Nasutitermis coniger* y el patógeno *Metarhizium anisopliae* es fundamental para entender las estrategias defensivas de las colonias de termitas contra infecciones fúngicas.

El nido, actuando como un microhábitat, es esencial para la resistencia a patógenos, no solo debido a las propiedades físicas que proporciona, sino también por los mecanismos sociales y microbianos que están implicados en la protección de la colonia. colonia.

2.9.4. Resistencia de las Termitas al Patógeno

Las termitas tienen diversas estrategias para resistir infecciones por patógenos, que incluyen una combinación de defensas físicas, inmunológicas y comportamentales. Estas estrategias son fundamentales para la supervivencia de las colonias.

Un estudio realizado por Rosengaus et al. (1999) mostró que “las termitas poseen una respuesta inmunitaria, que incluye la producción de compuestos antimicrobianos como fitoalexinas y péptidos antimicrobianos en respuesta a la invasión de patógenos”.

Además, el nido de las termitas puede jugar un papel crucial en la resistencia a patógenos. El ambiente microbiano dentro de un nido de termitas puede ser un factor determinante en la susceptibilidad o resistencia a ciertos patógenos. La humedad, la temperatura y la composición microbiana del nido pueden influir en la viabilidad del patógeno y la eficacia de las defensas de las termitas (Chouvenc et al., 2010).

2.9.5. Interacción entre *Nasutitermis coniger* y *Metarhizium anisopliae* en el Nido

La presencia de un nido de *Nasutitermis coniger* puede modificar las condiciones ambientales, como la humedad y la temperatura, que podrían influir en la resistencia al hongo *Metarhizium anisopliae*.

La interacción de *Nasutitermis coniger* con *Metarhizium anisopliae*. dentro de su entorno cerrado podría depender de varios factores, como estructura y composición del nido.

Investigaciones previas han mostrado que las termitas pueden modificar su comportamiento de defensa dentro de su nido, lo que incluye el aislamiento de individuos infectados para prevenir la propagación del patógeno (Evans, 2013).

2.9.6. Biología

Las termitas requieren un nivel de humedad elevado, superior al 50%, para su supervivencia. En el caso de las termitas subterráneas, el nivel de humedad del sustrato es de particular relevancia. La temperatura ideal para el crecimiento de las termitas se sitúa entre 25 y 30 grados Celsius, pudiendo tolerar aumentos significativos de temperatura siempre que sean temporales. Son más vulnerables a las temperaturas frías, aunque algunas especies son capaces de sobrevivir en condiciones cercanas a los 10°C.

2.9.6.1. Alimentación de *Nasutitermes corniger*

Nasutitermes corniger se alimenta principalmente de celulosa, que proviene de materiales como la madera, las plantas, el papel y la ropa, pero no tienen las enzimas necesarias para digerirla por sí solas. Por esta razón, en su intestino posterior, se encuentran protozoos flagelados y bacterias que viven en simbiosis con ellas. Si no tuvieran estos organismos asociados, las termitas no podrían sobrevivir y morirían de hambre.

Las termitas realizan un intercambio de alimentos de boca a boca o de ano a boca, conocido como trofalaxia bucal y trofalaxia anal, respectivamente.

La trofalaxia anal ocurre cuando un individuo pide alimento al donante, quien responde al estímulo de las antenas liberando, a través del ano, una gota de líquido que contiene simbiontes. (Scheffrahn et al., 2005).

2.9.6.2. Tipo de Aparato Bucal

Las termitas, incluyendo *Nasutitermes corniger*, poseen un aparato masticador bucal adaptado para descomponer materiales ricos en celulosa. Este aparato bucal incluye mandíbulas fuertes que les permiten triturar la madera y otros materiales vegetales. Además, presentan un

labrum y un cípeo que ayudan en la manipulación y procesamiento de los alimentos (Amisando, sf).

2.9.6.3. Ciclo de vida

El ciclo de vida (Figura 23) de *Nasutitermes corniger* sigue un patrón característico de los isópteros, con una organización social compleja y una división de castas bien definida. En las colonias de esta especie, se distinguen tres castas principales: Reproductores, obreras y soldados, cada una con funciones específicas dentro de la colonia (Thorne, 1983).

2.9.7. Desarrollo de los Individuos en 3 etapas

2.9.7.1. Etapa de huevo

El proceso de vida se inicia con la deposición de huevos por la reina. Los huevos son diminutos y presentan un tono blanco translúcido. En esta etapa, las trabajadoras son responsables de su cuidado y resguardo, garantizando condiciones ideales de temperatura y humedad para su adecuado desarrollo (González et al. , 2017). La duración del período de incubación fluctúa según las circunstancias ambientales, aunque comúnmente se extiende entre dos y cuatro semanas.

2.9.7.2. Etapa de ninfa

Luego de la eclosión, las termitas entran en un periodo de ninfa o larva, en el cual no han adquirido las características particulares de su casta. Durante esta fase, las obreras se encargan de alimentar a las ninfas mediante la trofalaxia, que es un proceso de intercambio de fluidos digestivos que les suministra nutrientes cruciales para su desarrollo (Thorne, 1982). En esta etapa, las ninfas llevan a cabo múltiples mudas antes de especializarse en una de las castas: obreras, soldados o aladas.

2.9.7.3. Diferenciación en el desarrollo de las ninfas

Dependiendo de las necesidades de la colonia y de factores hormonales, las ninfas pueden seguir diferentes caminos de desarrollo:

Obreras: Constituyen la mayor parte de la colonia y se encargan de la recolección de alimento, la construcción del termitero, el cuidado de huevos y ninfas, y la alimentación de otros miembros de la colonia. No poseen alas ni estructuras de defensa avanzadas.

Soldados: Son especializados en la defensa de la colonia. En el caso de *Nasutitermes corniger*, los soldados presentan una cabeza alargada con una estructura nasal en forma de cono, la cual secreta sustancias químicas repelentes para disuadir a depredadores como hormigas y otros insectos.

Alados (reproductores primarios): Son los futuros reyes y reinas de nuevas colonias. Presentan alas bien desarrolladas y, cuando alcanzan la madurez, emergen en grandes enjambres en busca de pareja y un lugar adecuado para fundar una nueva colonia (Thorne, 1983).

2.9.7.4. Madurez y reproducción

Los individuos alados llevan a cabo rituales de apareamiento en momentos determinados del año. Después de aterrizar, desprenden sus alas y establecen vínculos monógamos. La pareja seleccionada elige un lugar apropiado para establecer la nueva colonia, donde la reina comienza a poner huevos.

En las etapas iniciales, el proceso reproductivo es gradual, pero a medida que la colonia se expande, la cantidad de huevos que se producen incrementa de manera notable. La reina tiene una esperanza de vida de varios años, lo cual garantiza la persistencia y el crecimiento de la colonia.

Con el desarrollo de la colonia, surge una nueva generación de alados que continúan el ciclo vital de la especie. Este proceso asegura la proliferación y la supervivencia de *Nasutitermes corniger* dentro de su entorno.

Desde ese momento, la colonia comenzará a crecer, fortaleciéndose, estableciendo sus cultivos de hongos y construyendo su nido de termitas. Generalmente, una colonia promedio de termitas puede contar con una población que varía entre 100 y más de 1.000 individuos.

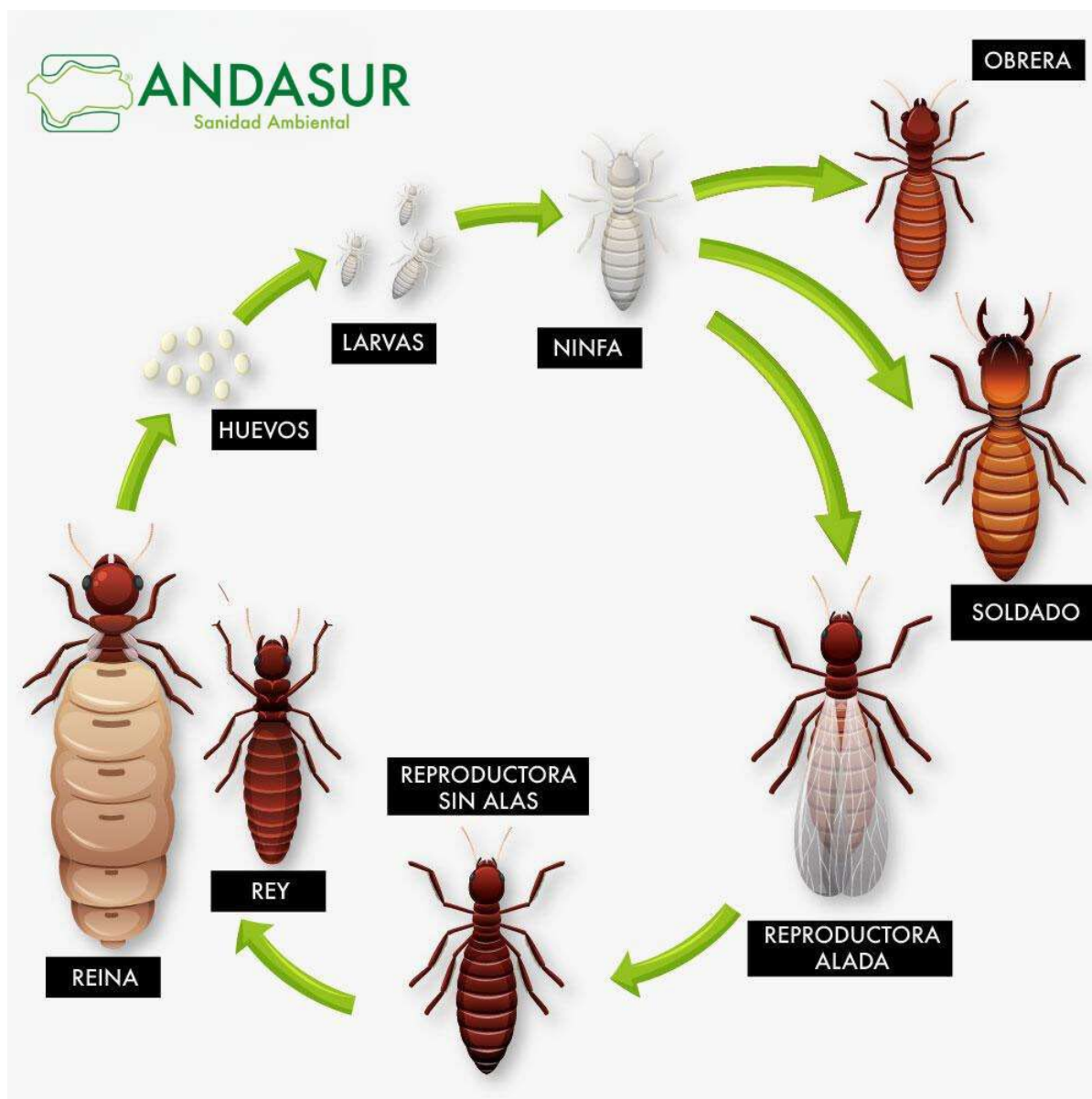


Figura. 23 El ciclo de vida de las termitas <https://andasur.com/guia-termitas/> tiene tres fases: **huevo**, **ninfa** y **adulto**. Todo comienza con la puesta de huevos de la reina. De ellos eclosionan miles de pequeñas larvas de color blanquecino. Se desarrollan y una vez que alcanzan la madurez podemos distinguir tres tipos de castas según su rol en el termitero: obreras, soldados o reproductoras. Las reproductoras o termitas aladas, serán las encargadas de salir al exterior, reproducirse y formar nuevas colonias; iniciando así de nuevo el ciclo.

Pueden alcanzar fácilmente millones de individuos. Si el rey o la reina mueren, serán sustituidos (¡el rey ha muerto!, ¡viva el rey!) como te expliqué antes, y con la llegada de la nueva estación primaveral o de lluvias, el ciclo se reiniciará.

2.9.8. Tipos de nidos en Termitas

Las termitas construyen distintos tipos de nidos dependiendo de la especie y del ambiente en el que habitan. Estos nidos ofrecen protección y regulan la humedad interna para el desarrollo de la colonia (Krishna et al.,1970).

2.9.8.1. Nidos subterráneos: Están situados bajo la tierra y se encuentran interconectados mediante túneles que conducen a fuentes alimenticias estos nidos son frecuentes en las termitas que habitan en el suelo y ofrecen resguardo contra depredadores y variaciones ambientales.

2.9.8.2. Nidos arbóreos: Se encuentran en árboles o en alturas elevadas están elaborados a partir de materiales masticados y adhesivos, lo que les proporciona defensa contra inundaciones y depredadores terrestres.

2.9.8.3. Nidos epigeos: Se forman sobre la superficie del terreno, adquiriendo la forma de montículos estos nidos son robustos y poseen la capacidad de alcanzar dimensiones considerables, brindando estabilidad térmica y un control adecuado de la humedad.

2.9.8.4. Nidos dentro de la madera: Se sitúan en troncos, ramas y otras estructuras de madera. Son característicos de las termitas que se nutren de madera seca y tienen potencial de causar daños estructurales en edificaciones humanas.

2.9.9. Relación con el ser humano e Importancia ecológica de las termitas

Las termitas son insectos que viven en grupos, por lo que su comunidad se organiza en diferentes roles, y cada uno tiene un trabajo especial.

Las termitas se clasifican en dos categorías: las que viven bajo tierra y las que no lo hacen (como las de madera seca y húmeda). Estas categorías incluyen tres familias que son importantes para la economía: *Kalotermitidae*, *Rhinotermitidae* y *Termopsidae*.

Desde el punto de vista ecológico, ayudan a convertir residuos y material orgánico que contiene celulosa en humus, que es un nutriente para el suelo. Su dieta consiste en un 50% de material xilófago (lo que significa que se alimentan de madera y raíces de plantas) y otro 50% de material herbívoro (que incluye celulosa de plantas, papel y cartón).

Daños causados por las termitas

Las termitas tienen la capacidad de causar daños serios en diferentes tipos de estructuras y ecosistemas, siendo ampliamente reconocidas por su comportamiento como plagas que afectan a numerosas comunidades humanas. Su hábito de consumir madera frecuentemente conduce a la completa destrucción de muebles y objetos de madera, e incluso, de viviendas enteras. En tiempos pasados, la construcción de casas de madera hacía que un ataque de termitas pudiera reducir una residencia a cenizas.

En la actualidad, aunque este problema no es tan agudo, todavía existen muchas casas antiguas con elementos de madera, y continúan presentándose infestaciones (Evans et al. , 2013). Su dieta basada en celulosa las transforma en plagas altamente destructivas tanto en edificaciones como en cultivos agrícolas.

Daños en construcciones: La degradación de madera en casas, edificios y muebles puede comprometer la integridad estructural de las construcciones.



Figura. 24 Daños a Madera de una casa por los termites
<https://www.anticimex.es/termitas/danos/>

Pérdidas económicas: En el sector agrícola, afectan cultivos maderables y frutales, disminuyendo la producción y generando altos costos en control y prevención.



Figura. 25 Daños a la madera <https://euoplades.com/como-detecatar-y-tratar-al-comejen/>

Alteraciones en ecosistemas: Aunque cumplen un rol ecológico en la descomposición de materia orgánica, su presencia en zonas urbanas y agrícolas puede ser perjudicial.



Figura. 26 Beneficios de las termitas
<https://www.dicyt.com/noticias/termitas-ayudan-a-recuperar-suelos-degradados-por-la-ganaderia>

También, este problema puede manifestarse en los centros históricos de numerosas ciudades, donde se encuentran en gran cantidad edificaciones antiguas con vigas y estructuras de madera. Como caso ilustrativo, el centro histórico de La Habana (Cuba) ha enfrentado significativos inconvenientes relacionados con termitas de los géneros *Cryptotermes*, *Heterotermes* y *Coptotermes*.

Para tomar acción a esta infestación, hay compañías especializadas en el control de plagas, y también están disponibles en el mercado productos destinados al tratamiento de la madera, los cuales previenen la aparición de termitas.

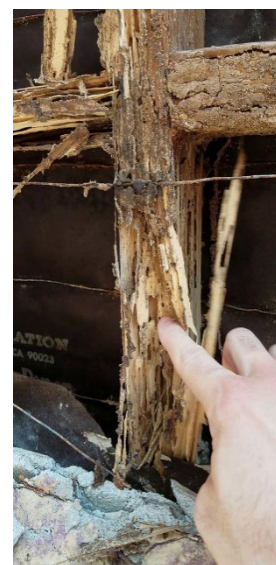


Figura. 27 Infestación de termitas y sus daños a la propiedad
<https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=57860>

2.9.9.1. Utilidad de las termitas en la alimentación humana

En múltiples sociedades, las termitas son ingeridas como una fuente de proteínas y nutrientes necesarios, además de su papel como plaga, las termitas, también constituyen un recurso alimentario para diversas comunidades humanas en áreas tropicales, donde son particularmente numerosas este tipo de alimento no debe ser subestimado, ya que las termitas están compuestas por un 40% de grasa y un 40% de proteínas (Fasoranti et al; 1993).

- ✎ **Alto valor nutricional:** Son ricas en proteínas, grasas saludables y minerales esenciales como hierro y zinc.
- ✎ **Consumo en África y Asia:** En algunas regiones de África y Asia, las termitas son recolectadas, tostadas o secadas al sol para su consumo.
- ✎ **Alternativa sostenible:** La cría de termitas para consumo humano se ha estudiado como una estrategia para combatir la inseguridad alimentaria y promover fuentes alternativas de proteínas.



Figura. 28 Nido de termitas utilizadas para la alimentación Para instalar una trampa simple pero eficaz, se acumulan ramas con hojas junto al montículo y se cubren con pieles de bovino. Luego, se tapan los orificios en la base del montículo, forzando a las termitas a salir por debajo de la piel. Los bordes de la trampa se sellan con tierra, dejando solo una única salida en la parte frontal, donde se excava un agujero circular. Alrededor del pozo, coloque una hoja de henequén para evitar que las termitas escapen una vez dentro. Atraídas por la luz, caen en el agujero, permitiendo la captura de varios kilos de estos insectos, ricos en grasas y proteínas. <https://diagnosisdela madera.com/las-termitas-ciclo-vida-africa/>

2.9.9.2. Importancia Ecológica de las Termitas

Además de ser una fuente de alimento para los humanos, las termitas también, forman parte de la dieta de numerosas especies. Algunas, como diversas aves y reptiles, las consumen de manera oportunista, mientras que otras están especialmente adaptadas para cazarlas, como los osos hormigueros, los cerdos hormigueros (Figura 31) y los pangolines (Figura 30). Estos últimos poseen poderosas garras para romper los termiteros, así como hocicos alargados y tubulares con lenguas largas y pegajosas que les permiten atraparlas con facilidad. Otro depredador notable es el “lobo de tierra” (*Proteles cristatus* Figura 29), un miembro singular de la familia de las hienas que basa aproximadamente el 90 % de su alimentación en termitas.

Figura. 29 El lobo de tierra o proteles (*Proteles cristata* o *Proteles cristatus*) es una especie de mamífero carnívoro de la familia Hyaenidae, que, al contrario que las demás hienas, es un tímido insectívoro solitario. Es el único miembro de su género y de la subfamilia Protelinae. <https://zoogalaxy.net/es/photos/mammalia/carnivora/hyaenidae/proteles-cristatus>



Figura. 30 Pangolines <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/pangolin-el-animales-extrano-y-deseado-del-mundo/> Tiene un hocico tubular y una boca desdentada, con una estrecha, musculada y pegajosa lengua —lubricada por unas enormes glándulas salivares— que introduce en hormigueros y termiteros para alimentarse a diario de decenas de miles de estos insectos. Y los digiere con la ayuda de pequeños guijarros que acumula en el estómago. Cabeza mas chica a proporción de su cuerpo.



Figura. 31 Cerdos Hormigueros <https://www.expertoanimal.com/cerdos/cerdo-hormiguero.html> La alimentación del cerdo hormiguero es carnívora, pues su dieta está compuesta por termitas y hormigas. El procedimiento que sigue es el siguiente: primero excava en los termiteros u hormigueros para, después, introducir su larga y pegajosa lengua y extraer a los insectos, además cierra las aletas de su nariz para que los insectos no entren y su gruesa piel evita las molestias de las mordeduras

Los grandes termiteros funcionan de igual forma como vivienda y santuario para diversas especies de fauna, aves, mangostas, ofidios que generalmente no perturban a las termitas, y que a su vez no son incomodadas por éstas.

Las chimeneas resultan especialmente seductoras para los reptiles, ya que de ellas emana constantemente un aire cálido y húmedo que les resulta muy tentador.

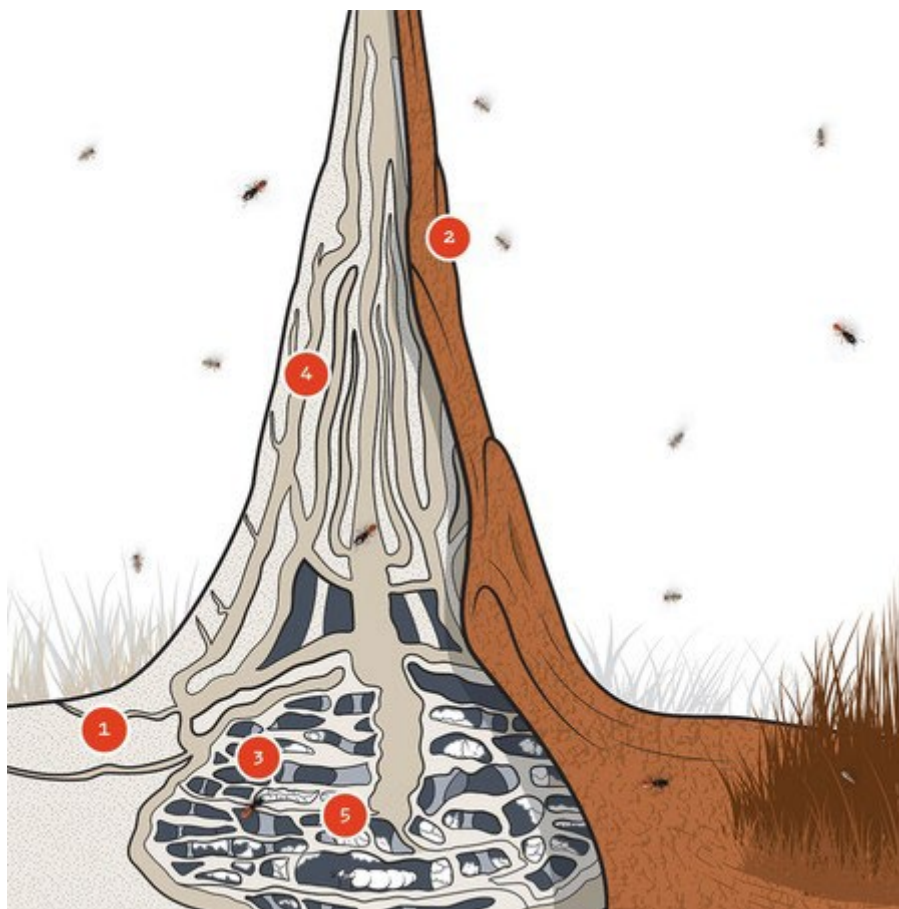
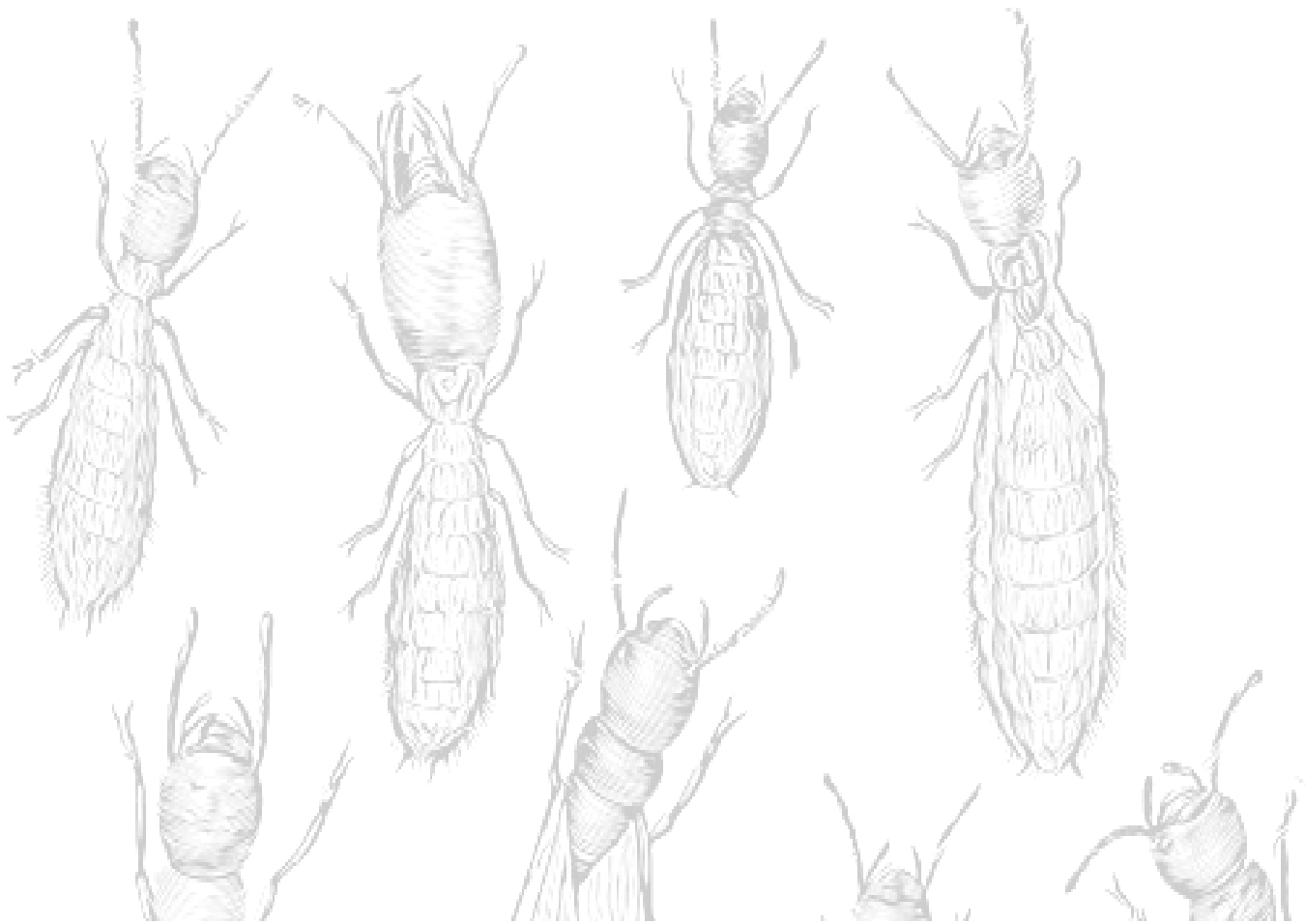
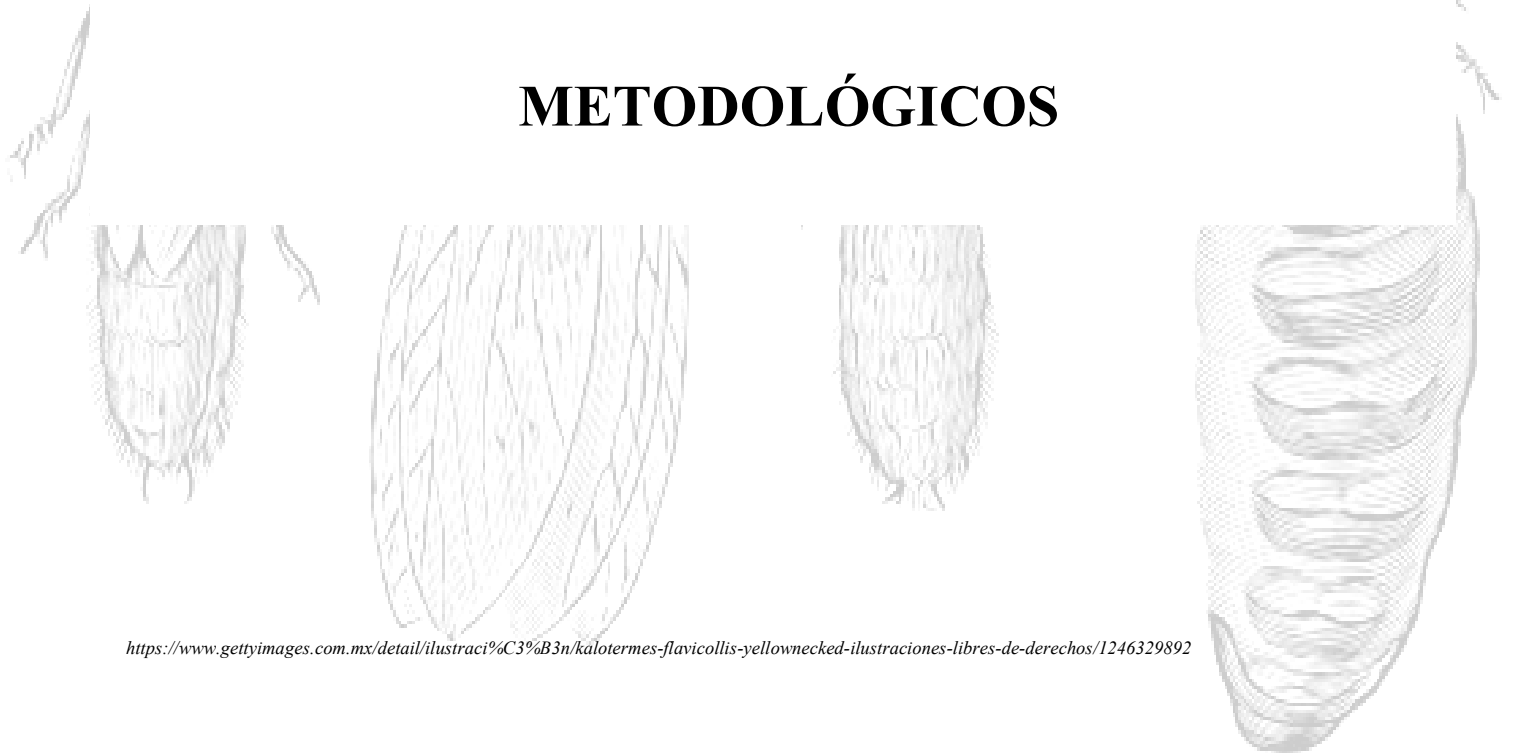


Figura. 32 En la imagen se pueden ver partes cruciales del nido. 1. Los pasadizos permiten llevar alimento al nido. 2. La cobertura o "piel" del nido parece sólida, pero es muy porosa. 3. El microbioma está formado por hongos que permiten generar alimento (azúcares y nitrógeno), produciendo CO₂. 4. El montículo se comporta como un pulmón, extrayendo el CO₂ y dejando entrar aire fresco. 5. En la parte interior es donde residen la mayoría de las termitas, incluidas la reina que se encarga de la reproducción. Fuente: Popsci

<https://www.xataka.com/otros/asi-rascacielos-creados-termitas-verdaderas-obras-arquitectonicas-que-vitales-para-estos-insectos>



CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS



3. Diseño de la Investigación

El diseño de esta investigación utiliza los enfoques, métodos y técnicas que se eligen para el desarrollo de este. En este sentido, el enfoque elegido es el Cuantitativo, el cual reúne algunos de los pasos que permiten dar una respuesta a las variables; Tipo de tratamiento, Reducción de la población de termitas, los cuales serán objeto de medición, Roberto Hernández Sampieri (2014 p.4) señala que el enfoque Cuantitativo “Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica”. La cita de Hernández Sampieri resume de manera concisa y precisa uno de los pasos fundamentales en el proceso de investigación: la delimitación del problema de investigación y la construcción del marco teórico.

3.1. Tipo de Investigación

En cuanto al tipo de investigación es de carácter **experimental** el método experimental es una estrategia científica que permite investigar las relaciones de causa y efecto entre diferentes variables.

En este método, el investigador modifica una variable, denominada variable independiente, y examina las variaciones que esta provoca en otra variable, conocida como variable dependiente, con el objetivo de establecer si hay una relación de causa y efecto entre ambas uno de los elementos esenciales de este enfoque es el control, ya que el investigador garantiza que las condiciones del experimento permanezcan inalteradas para evitar que otros factores influyan en los resultados. Además, se requiere la manipulación de una o más variables para evaluar sus impactos y, por lo general, se utiliza un grupo de control, que no se somete a la intervención en la variable independiente, lo que facilita la comparación con los grupos

experimentales y el análisis de los resultados a lo largo de la historia, varios pensadores y científicos han abordado este enfoque.

Francis Bacon, considerado el padre del empirismo, fue uno de los primeros en abogar por la observación sistemática y el método experimental como métodos fundamentales para el conocimiento (Bacon, 2000). Más tarde, John Stuart Mill (1843) ofreció un análisis detallado sobre el diseño de experimentos para probar hipótesis causales.

Por su parte, Karl Popper (2005) destacó “la relevancia de la falsabilidad en la ciencia experimental, argumentando que las teorías deben ser susceptibles de ser refutadas mediante experimentos controlados el método experimental continúa siendo esencial en la investigación científica en áreas como las ciencias naturales, la psicología y las ciencias sociales”(p.36-40).

3.2. Variables a examinar

Se denominan variables a los constructos, propiedades o características que adquieren diversos valores. Las variables son enunciados que adquieren distintos Valores que pueden ser una cualidad, propiedad o característica de una persona o casa en estudio. Las variables pueden ser independiente (V.I) o dependiente (V.D). Las variables de estos estudios son:

Variable Independiente (VI): Tipo de tratamiento aplicado

Variable Dependiente (VD): Reducción de la población de termitas

Este diseño permitirá determinar si la estructura del nido de *Nasutitermes corniger* confiere una ventaja adaptativa frente a infecciones fúngicas, proporcionando información relevante para el desarrollo de estrategias de manejo y control de termitas en diferentes ecosistemas.

3.2.1. Variable Independiente

Se denomina variable independiente a aquella que es manipulada por el investigador en un experimento, con el objetivo de estudiar como incide sobre la expresión de la variable dependiente. La variable independiente corresponde a: tipo de tratamiento aplicado.

3.2.3. Variable Dependiente

La variable dependiente es el proceso o característica que exige una explicación y es manipulada. nuestra variable dependiente es: reducción de la población de termitas.

3.3. Conceptualización de las Variables

La conceptualización de una variable implica definirla de manera clara y precisa. En este sentido, se definen a continuación las variables de este estudio.

Variable Independiente: Tipo de tratamiento aplicado (por ejemplo, un control biológico como hongos entomopatógenos o un insecticida químico).

Variable Dependiente: Reducción de la población de termitas (medida en porcentaje de mortalidad o disminución del tamaño del termitero).

Cuadro No 2 Operacionalización de las variables: Una definición operacional está constituida por una serie de procedimientos.

Variable	Concepto	Indicadores
<p>Variable Independiente</p> <p>Tipo de tratamiento aplicado.</p>	<p>El tipo de tratamiento aplicado se refiere a la estrategia utilizada para controlar o reducir la población de <i>Nasutitermes corniger</i> con el patógeno <i>Metarhizium anisopliae</i>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✎ Sustancia. ✎ Método utilizado (BioControl, químico, control físico). ✎ Concentración del tratamiento aplicado. ✎ Frecuencia de aplicación. ✎ Tiempo de exposición.
<p>Variable Dependiente</p> <p>Reducción de la población de termitas.</p>	<p>Reducción de la población de termitas Medida del impacto del tratamiento en la disminución de la colonia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✎ Número de termitas antes y después del tratamiento. ✎ Porcentaje de mortalidad. ✎ Disminución del tamaño del termitero. ✎ Actividad forrajera.

3.4. Población y Muestra

Hernández, Fernández y Baptista (2014; p. 239), señalan que la población es “la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades poseen características en común, las cuales se estudian y dan origen a los datos de la investigación”. La población constituye siempre una totalidad. Las unidades que la integran pueden ser individuos, hechos o elementos de otra índole.

La población seleccionada para este estudio corresponde a lo siguiente:

Nasutitermes corniger

3.4.1. Población del Experimento

La población del experimento estará compuesta por colonias de *Nasutitermes corniger*, seleccionadas de hábitats naturales o mantenidas en condiciones controladas en laboratorio.

3.4.2. Criterios de Selección de la Población

Especie de estudio: Individuos pertenecientes a la especie *Nasutitermes corniger*, identificados taxonómicamente.

Ubicación de las colonias:

Colonias recolectadas de entornos naturales como bosques, áreas urbanas o terrenos con actividad de termitas.

Número de individuos por colonia:

Se seleccionará un número representativo de individuos, asegurando la presencia de diferentes castas (obreras, soldados y reproductores) en cada muestra.

Tamaño de la muestra:

Se recomienda trabajar con al menos 2 a 5 colonias por grupo experimental para garantizar replicabilidad.

Este diseño permitirá evaluar la influencia del nido en la resistencia al patógeno y establecer diferencias significativas en la supervivencia de las termitas bajo distintos escenarios experimentales

3.4.3. Muestra

La muestra es una parte que se toma de la población para investigar la resistencia de *Nasutitermes corniger* a *Metarhizium anisopliae*, es esencial elegir un método de muestreo apropiado que garantice tanto la representatividad como la validez de los resultados obtenidos

Muestreo estratificado.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Investigación

Las técnicas e instrumento de investigación son los elementos que utiliza el investigador para medir las variables y recolectar la información necesaria

Diseño experimental controlado (comparación de grupos) esta técnica consiste en dividir la población de termitas en dos grupos: uno con acceso a nidos y otro sin acceso a nidos, para observar cómo la presencia del nido influye en la resistencia al patógeno la aplicación del patógeno en ambos grupos permitirá comparar los resultados de mortalidad o resistencia.

3.5.1. Instrumentación

El instrumento es la herramienta utilizada por el investigador para recolectar la información de la muestra seleccionada y poder resolver el problema de la investigación, que luego hace más fácil la disolución del problema. para la recolección de datos en esta investigación, se utilizarán los siguientes instrumentos:

- ✎ Dispositivos de captura para la recolección de individuos de *Nasutitermes corniger* en distintos puntos de muestreo.
- ✎ Microscopía óptica y electrónica Para el análisis morfológico de termitas infectadas con *Metarhizium anisopliae* y la identificación de signos de infección fúngica.
- ✎ Se realizarán pruebas de viabilidad y esporulación del hongo en muestras recolectadas.

✂ También se hizo un formato de Excel con los datos (Cuadro No 3) para medir la mortandad basado en las Concentraciones y los días hábiles de supervivencias.

Cuadro No 3. Formato del Catalogo en Excel con los datos de los ejemplares de *Nasutitermes corniger* con el patógeno *Metarhizium anisopliae*.

Tratamiento N°1 Conteo de Mortalidad de la especie <i>Nasutitermes corniger</i> al patógeno <i>M. anisopliae</i>								
Replica N°1	Replicas con Diferentes tipos de Concentraciones							
	Replica 1.1		Replica 1.2		Replica 1.3		Grupo Control	
Días contables de Mortalidad	Con Nido concentración 0.1 %	sin nido concentración 0.1%	Con Nido concentración 0.01 %	sin nido concentración 0.01%	Con Nido concentración 0.001 %	sin nido concentración 0.001%	Con Nido sin concentración	sin nido sin concentración
Dia 1								
Dia 2								
Dia 3								
Dia 4								
Dia 5								

Leyenda

Datos de Recolección de muestras según día y nivel de concentración

Grupo control Termitas con nido completo y sin la presencia del nido, sin el patógeno, *Metarhizium anisopliae*

Replica 1 Termitas con nido completo y sin la presencia del nido con la presencia del patógeno, *Metarhizium anisopliae* en una concentración de 0.1%

Replica 1.2 Termitas con nido completo y sin la presencia del nido con la presencia del patógeno, *Metarhizium anisopliae* en una concentración de 0.01%

Replica 1.3 Termitas con nido completo y sin la presencia del nido con la presencia del patógeno, *Metarhizium anisopliae* en una concentración de 0.001%

3.6. Cronograma de la Investigación

Cuadro No 4. Un cronograma de actividades es una herramienta fundamental en la planificación, representada como un calendario en el que se especifican las tareas y fases que deben llevarse a cabo. Su objetivo principal es estructurar y presentar de forma clara y ordenada las actividades, lo que facilita su seguimiento y control.

3.6.1 Cronograma de Actividades

Actividades 2025	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Revisión bibliográfica				
Compra de materiales				
Toma de muestra				
Identificación de Individuos				
Análisis de datos				
Redacción de informe				
Revisión de informe				
Presentación				

3.7. Presupuesto

Cuadro No 5 Es la planificación detallada de los ingresos y gastos del proyecto. Puede provenir de diversas fuentes, como fondos propios, donaciones, préstamos, otros. Para la planificación del proyecto se han enlistado gastos de acuerdo con diferentes etapas como se describen en la siguiente matriz.

Materiales y Equipo	Unidades	Costo estimado (\$)
Vasijas plásticas	100	50.00
Nidos de termitas	5	0.00
Micro pipeta	6	45.00
Patógeno	1bolsa de 250 gr	20.00
Vasija grande	4	80.00
Bolsas plásticas	4 paquetes	20.00
Cuchillo	1	5.00
Cinta adhesiva	1	5.00
Algodón	1	2.50
Talco	1	5.00
Agujas de insulina	24	10.00
Estereoscopio	1	1000.00

Pinzas entomológicas	5	100.00
Pinceles	5	25.00
Cámara fotográfica	1	500.00
Transporte	-	500.00
Impresión de material de apoyo	-	50.00
Total		\$2417.50

3.8. Datos Geográficos

Panamá cuenta con una superficie de 75 517 Km² en donde algunos de sus principales ríos como Chagres, Chiriquí, Fonseca o el Sixaola, posee gran riqueza de Fauna y Flora la mayor parte de su territorio está formado por un 70% de tierras bajas y el otro 30% pertenece a tierras altas como la Cordillera central o el Volcán Barú su clima es variado ya que posee 2 estaciones al año cálido en el verano de (diciembre a marzo) y clima lluvioso de (abril a noviembre) (Mi Ambiente, 2002) (Figura 33).

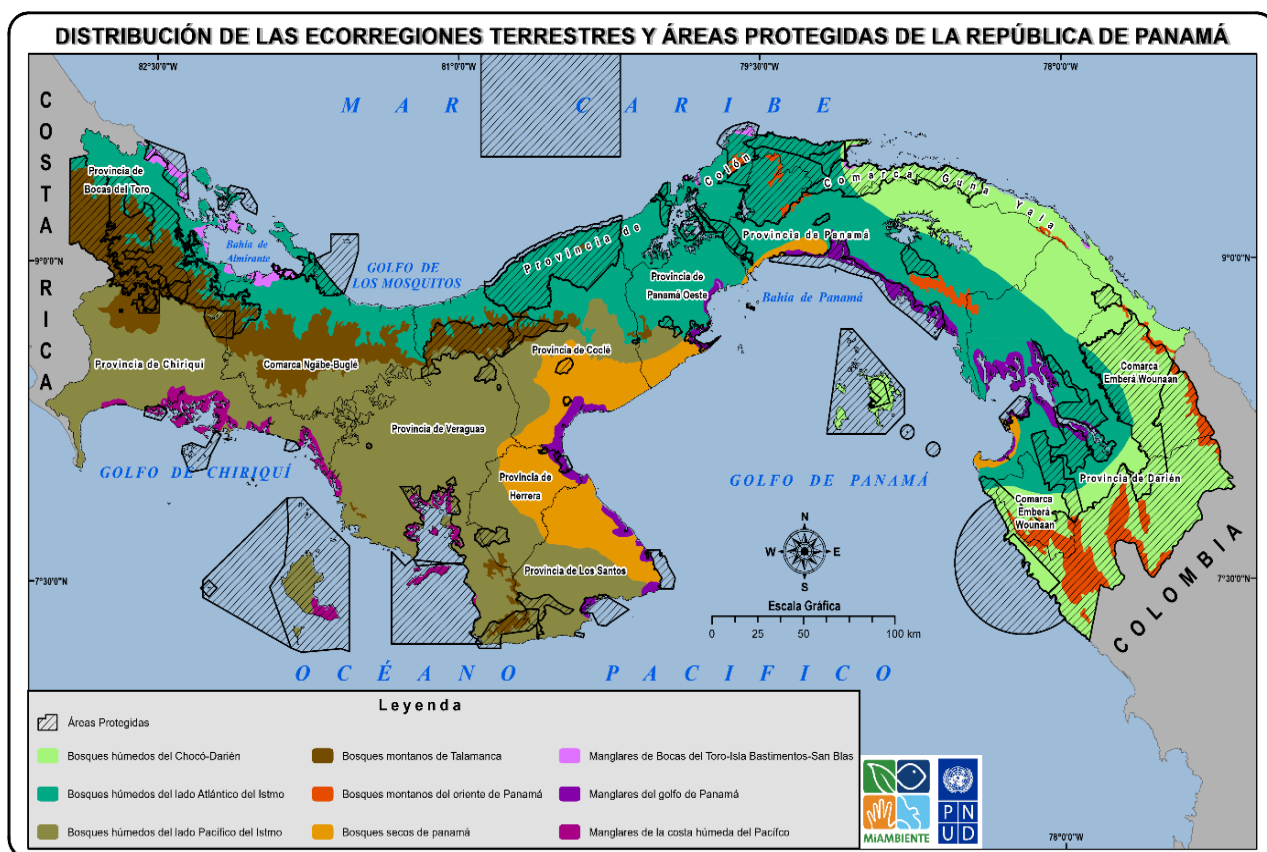
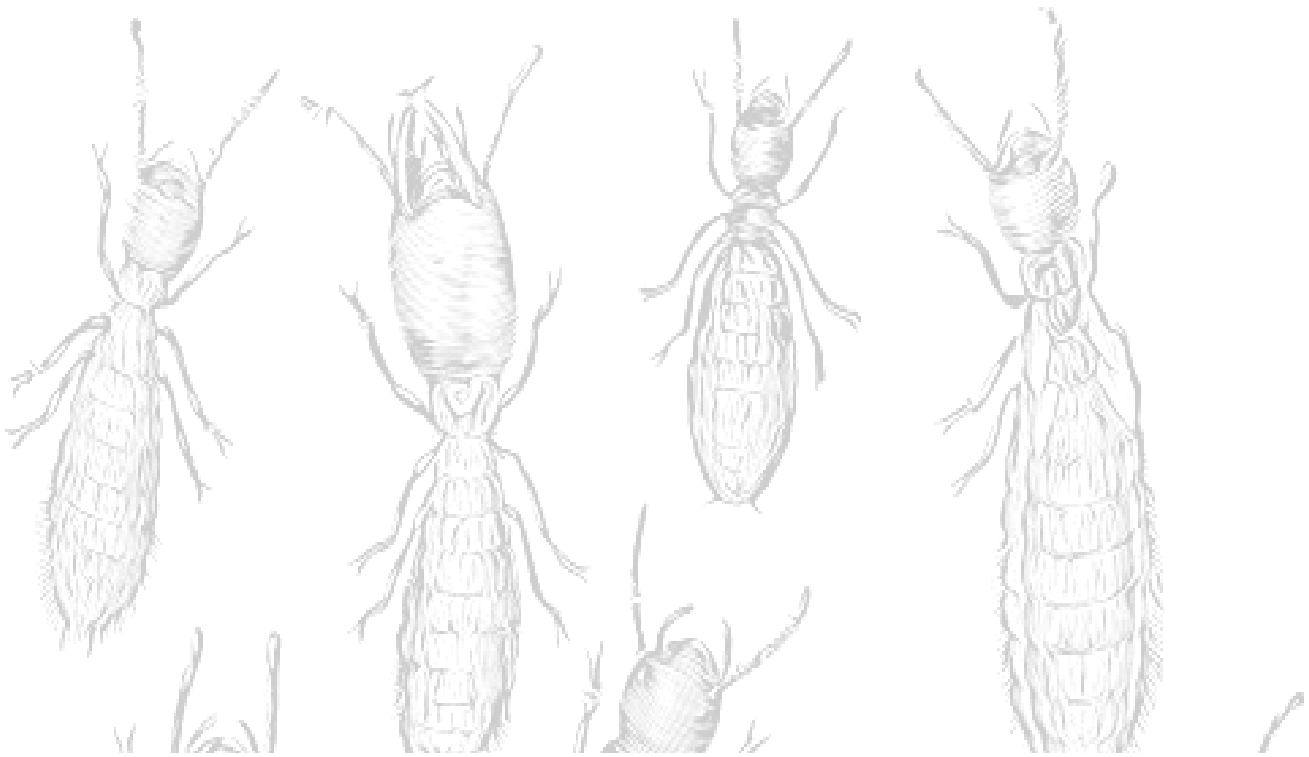


Figura. 33 Informe Nacional de Biodiversidad. 2002. ANAM/Corredor Biológico Mesoamericano/UNEP/WCMC/UICN.



CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS



4. Procedimiento para su realización

Diseño Experimental

Análisis estadísticos

Se llevarán a cabo pruebas estadísticas para evaluar la longevidad en cada tratamiento, comparando en cuál de las tres pruebas los individuos de *Nasutitermes corniger* que sobrevivieron durante un mayor período tras la infección del patógeno *Metarhizium anisopliae*.

Asimismo, se calculará el promedio del tiempo de infección, determinando el intervalo mínimo y máximo en el que los individuos de *Nasutitermes corniger* en cada tratamiento presentan síntomas de la infección del patógeno *Metarhizium anisopliae*.

4.1. Preservación y conservación de los ejemplares

Se procedió en tomar 3 muestras diferentes de nido de la (familia: Termitidae) Ubicado en gamboa, carretera Gaillard, cerro Tigre, avenida Omar Torrijos, vía centenaria, tramos de los parques nacionales soberanía y camino de cruces, corredor eléctrico de la ACP y culminando contiguo a la Universidad Tecnológica de Panamá. Corregimiento de Ancón, Distrito y Provincia de Panamá (Figura 4) de 3 locaciones diferentes las cuales permitan tener mayor diversidad entre los individuos, los cuales se encontraban a entre los 40 metros de distancia se recolectarán tanto nidos como individuos.



Figura. 34 (A) Primer termitero a una altura de 1 metro de un árbol de roble con castas jóvenes . (B) segundo termitero sobre un techado abandonado a base de arena con castas más adultas. (C) tercer termitero en un árbol nido con castas aladas y jóvenes sin termitero reciente



Figura. 35 (A-D) Corte y Recolecta de cada uno de los termiteros designados a esta investigación, empacado y designación de la cantidad de población recolectada.

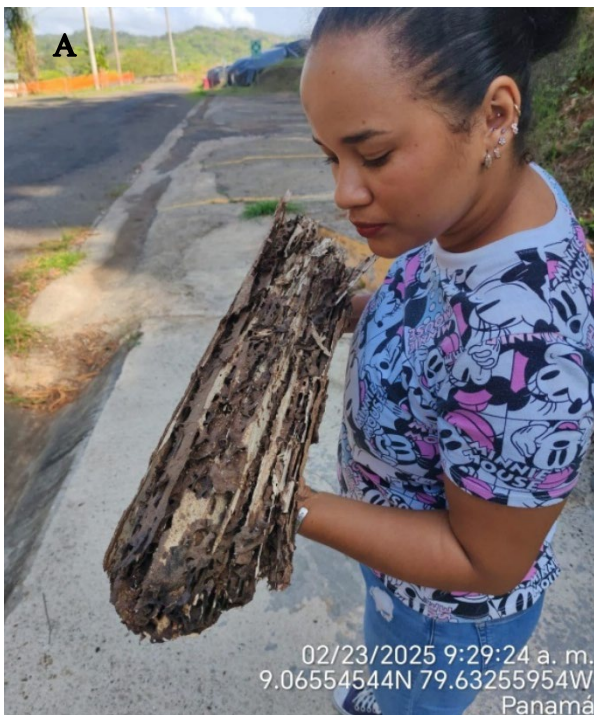


Figura. 36 (A) Tercer termitero en un árbol nido con castas aladas y jóvenes sin termitero Reciente analizando si las termitas están. (B) Primer termitero, (C) primer termitero siendo diseccionado en porciones más chicas. (D) recipientes de contención de cada termitero.

Los cuales se procede a dejar en un envase plástico individuales notando los diferentes nidos que se obtuvieron con tapa y respiradero para mejor comodidad una mota de algodón con agua y otra con agua con azúcar añadida.

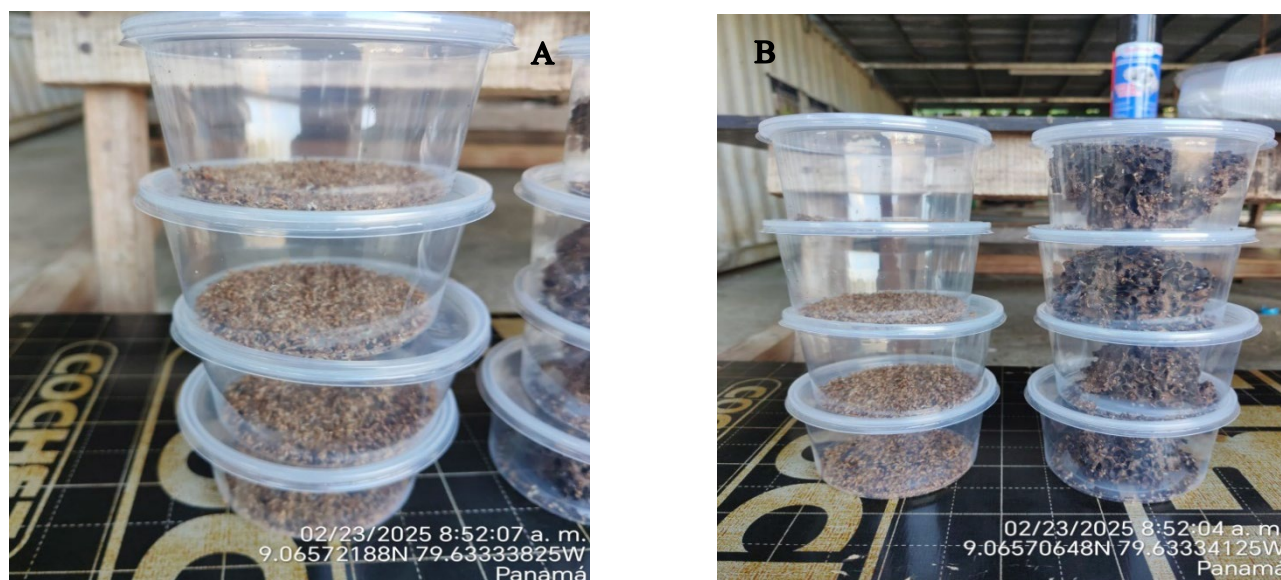


Figura. 37 (A-B) Vasijas de contención con cada uno de los tratamientos, a los cuales serán sometidos.

Se procederá a realizar 12 tratamientos donde se tomarán más o menos 400 individuos de las 3 colonias diferentes.



Figura. 38 (A-B) tratamientos de 3 colonias diferentes apiladas en espera de analizar su tasa de mortalidad.

Una vez obtenidos todos los tratamientos se procede a trasladarnos a la Ubicación en Panamá provincia y distrito de Panamá, corregimiento de Rufina Alfaro Calle. 17 B, Panamá, lugar donde se realizó la metodología experimental (Figura 5).

Una vez obtenida todos los ejemplares de *Nasutitermes corniger* se realizó una batería de disolución en donde se procedió a tomar 100 ml de agua y agregando 8 gramos del patógeno *Metarhizium anisopliae* se mezcló la solución, una vez esta homogénea la solución se procede a tomar 10 ml de la solución madre 1/10 y se agrega a la siguiente solución de la batería a esta solución se le dará el porcentaje de 0.1 g/ml, en donde se utilizó 90 ml de agua más los 10 ml de la solución madre realizada 1/100, a esta solución se le dará un porcentaje de 0.01 g/ml, luego al último tratamiento se le agrego 90 ml de agua y adicional 10 ml de la segunda solución (0.01g/ml), en donde a esta última solución se le dará el porcentaje de 0.001 g/ml , dando así una concentración aún menor de esta batería de disolución (Figura 39).

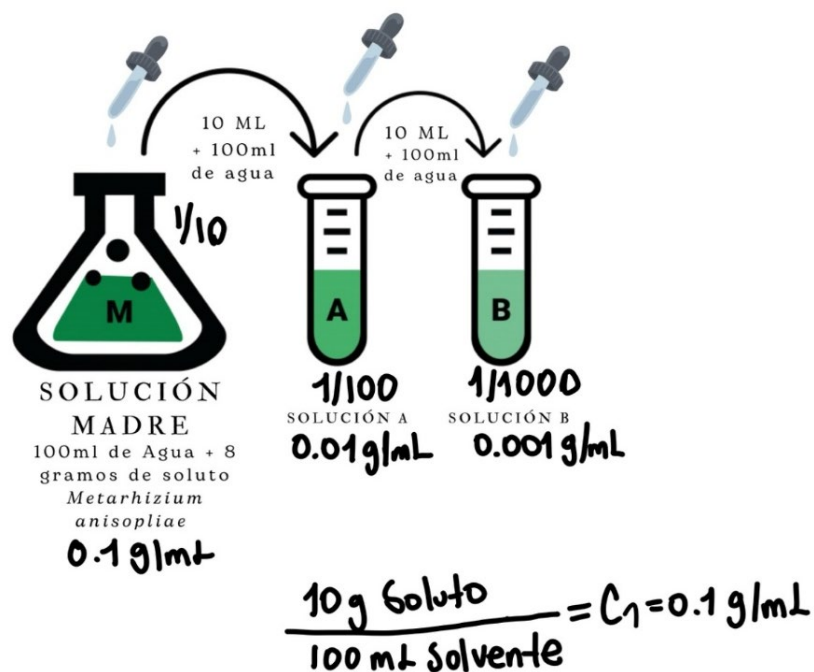


Figura. 39 Batería de disoluciones para los diferentes tratamientos.

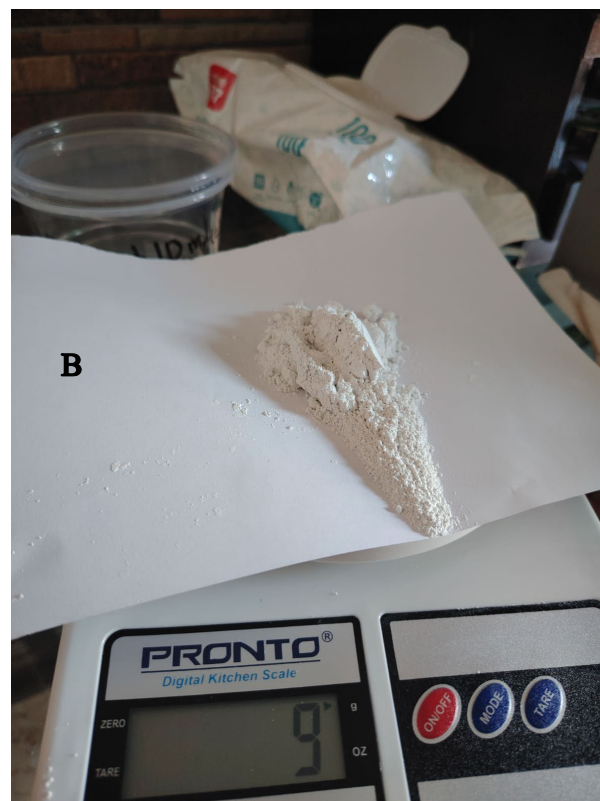


Figura. 40 (A) *Metarhizium anisopliae*. (B) pesaje en gramos de *Metarhizium anisopliae* (C) Bateria d disolución del patógeno (soluto y solvente) (D) preparación de cada una de las soluciones que serán utilizadas para cada una de las réplicas.

Estas soluciones se rociaron con un atomizador simulando el ambiente y a las réplicas con nido presente se procedió a humedecer el nido en diferentes puntos y tapar el recipiente.

✦ **Contará con un grupo control y 3 réplicas**

Grupo control Termitas con nido completo y sin la presencia del nido, sin el patógeno, *Metarhizium anisopliae*

Replica 1 Termitas *Nasutitermes corniger* con nido completo y sin la presencia del nido con la presencia del patógeno, *Metarhizium anisopliae* en una concentración de 0.1%

Replica 1.2 Termitas *Nasutitermes corniger* con nido completo y sin la presencia del nido con la presencia del patógeno, *Metarhizium anisopliae* en una concentración de 0.01%

Replica 1.3 Termitas *Nasutitermes corniger* con nido completo y sin la presencia del nido con la presencia del patógeno, *Metarhizium anisopliae* en una concentración de 0.001%

con un pequeño pincel se moverán los individuos impregnados a los envases plásticos de cada tratamiento y se revisará a diario el comportamiento de cada grupo para registrar la presencia o ausencia del hongo.

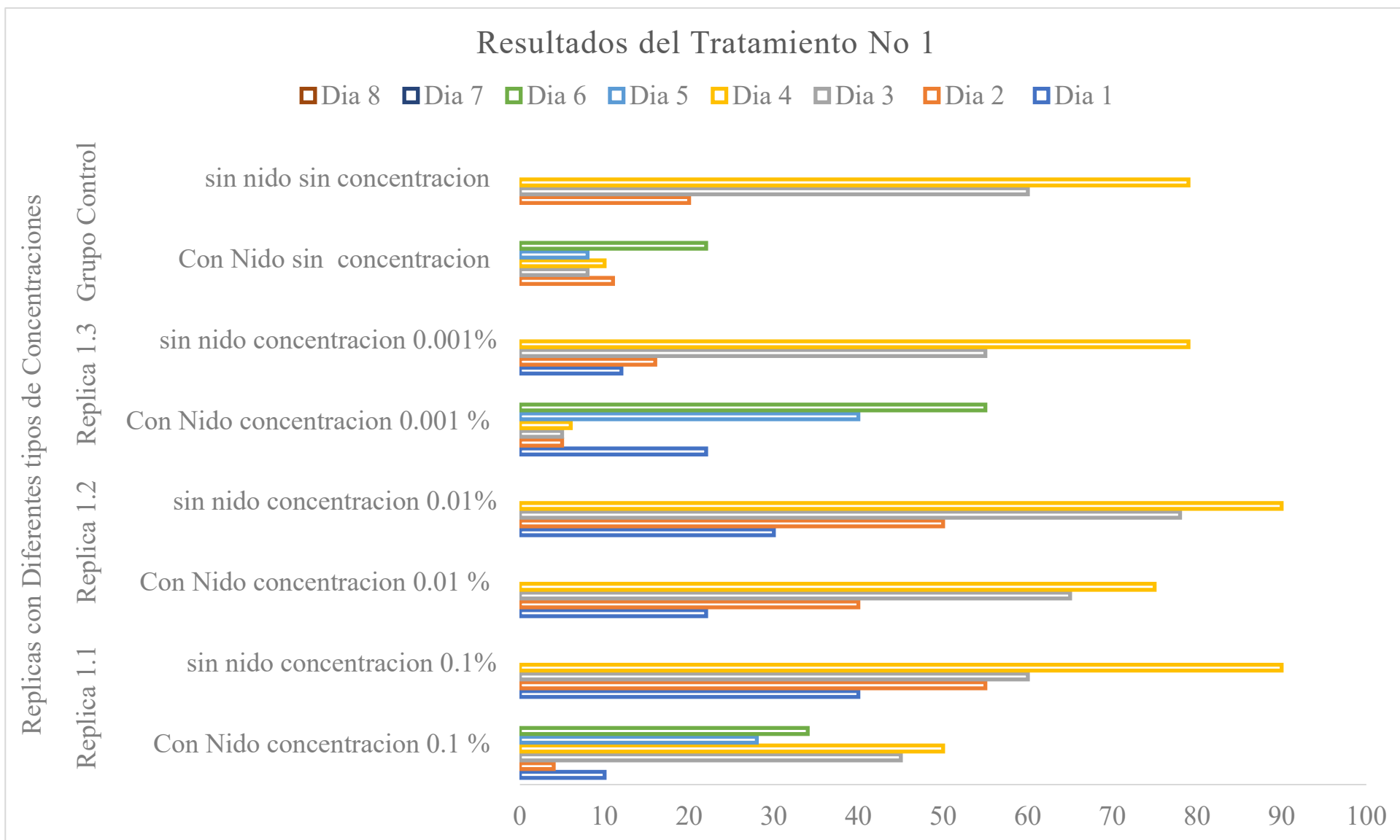
Los datos serán procesados y adicional escritos en cuadros (Cuadro No 3) para el control y manejo de los materiales y los individuos estudiados de la siguiente manera.

4.2. Análisis de los resultados

Cuadro No 6 Tratamiento No 1, resultados de las 3 réplicas más el grupo control, con el patógeno en diferentes Concentraciones

Tratamiento No 1 Conteo de Mortalidad de la especie <i>Nasutitermes corniger</i> al patógeno <i>Metarhizium anisopliae</i>								
Replica No 1	Replicas con Diferentes tipos de Concentraciones							
	Replica 1.1		Replica 1.2		Replica 1.3		Grupo Control	
Días contables de Mortalidad	Con Nido Concentración 0.1 %	sin nido Concentración 0.1%	Con Nido Concentración 0.01 %	sin nido Concentración 0.01%	Con Nido Concentración 0.001 %	sin nido Concentración 0.001%	Con Nido sin Concentración	sin nido sin Concentración
Dia 1	10	40	22	30	22	12	0	0
Dia 2	4	55	40	50	5	16	11	20
Dia 3	45	60	65	78	5	55	8	60
Dia 4	50	90	75	90	6	79	10	79
Dia 5	28	TODAS	TODAS	TODAS	40	TODAS	8	TODAS
Dia 6	34	TODAS	TODAS	TODAS	55	TODAS	22	TODAS
Dia 7	0	TODAS	TODAS	TODAS	0	TODAS	0	TODAS
Dia 8	0	TODAS	TODAS	TODAS	0	TODAS	0	TODAS

Gráfica No 6 .Representación del Tratamiento No 1 de Nasutitermes corniger al patógeno Metarhizium anisopliae



Análisis

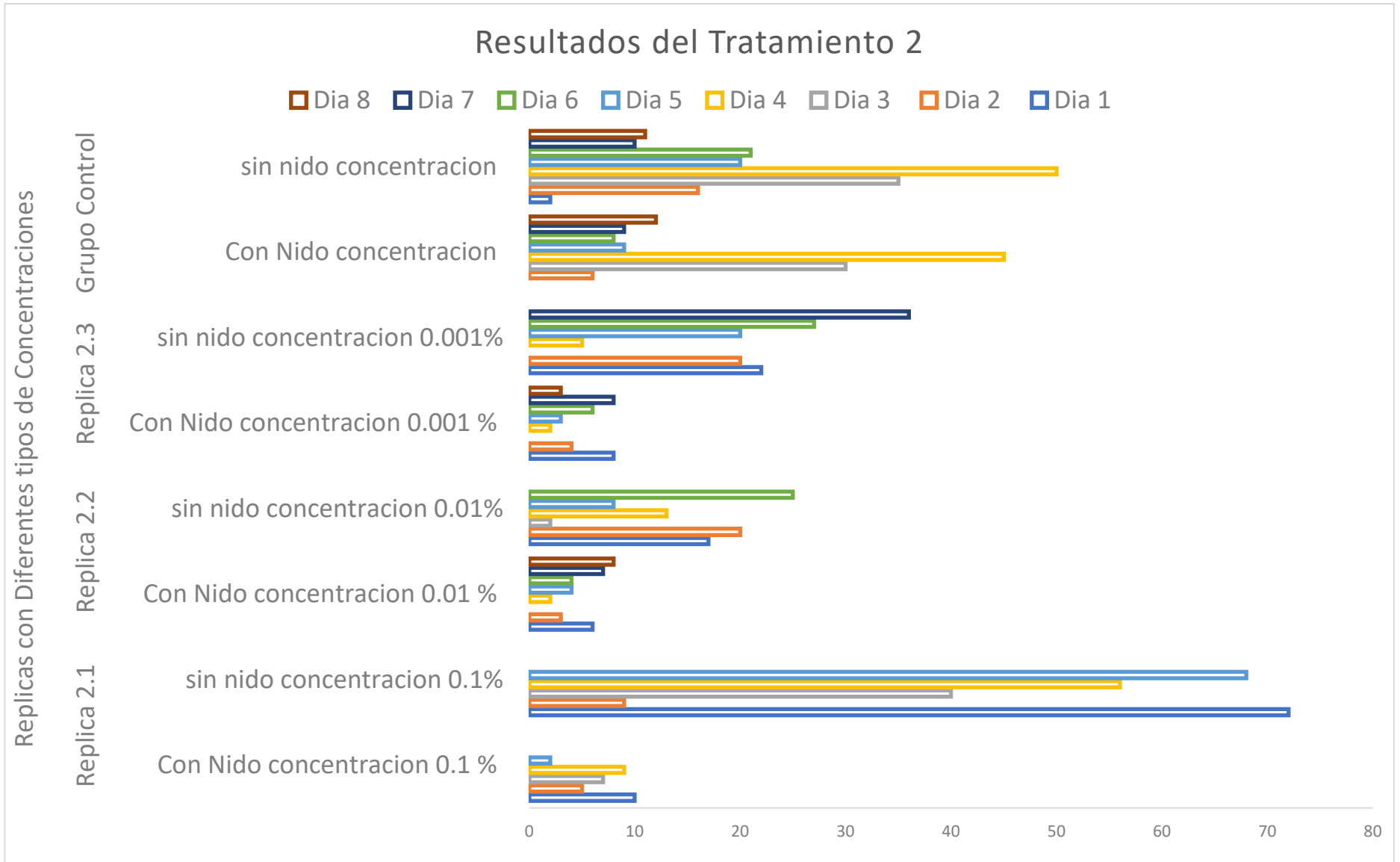
Cuadro y Gráfica No 6

El tratamiento No 1, consta del nido de *Nasutitermes corniger* de la primera recolección hecho más en base a la celulosa, posado en el tronco de árbol de roble, de manera que su nido es más delicado y propenso a los depredadores, este contaba con individuos de castas más jóvenes (Figura 46, 47,48) lo cual se puede observar que los individuos más propensos a la dispersión de esporas del patógeno *Metarhizium anisopliae* al usar las feromonas para la autodepuración social de las castas enfermas no ayuda mucho ya que en las concentraciones dadas de 0.1% y el 0.01% en días posteriores cuenta con una amplia mortalidad de las castas, la réplica 1.2 cuenta con mayor proporción en mortalidad dada a la línea de las castas entre ninfas, soldados y obreras el grupo control que cuenta con el nido aun tuvo mejor potencial a la supervivencia, al igual que la réplica 1.3 en donde la concentración al ser mucho menor (0.001%), esto dando como resultado una variación entre los días de mayor a menor mortalidad a medida que su adaptación al patógeno evolucionaba.

Cuadro No 7 Tratamiento No 2, resultados de las 3 réplicas más el grupo control, con el patógeno en diferentes Concentraciones

Tratamiento No 2 Conteo de Mortalidad de la especie <i>Nasutitermes corniger</i> al patógeno <i>Metarhizium anisopliae</i>								
Replica No 2	Replicas con Diferentes tipos de Concentraciones							
	Replica 2.1		Replica 2.2		Replica 2.3		Grupo Control	
Días contables de Mortalidad	Con Nido Concentración 0.1 %	sin nido Concentración 0.1%	Con Nido Concentración 0.01 %	sin nido Concentración 0.01%	Con Nido Concentración 0.001 %	sin nido Concentración 0.001%	Con Nido sin Concentración	sin nido sin Concentración
Dia 1	10	72	6	17	8	22	0	2
Dia 2	5	9	3	20	4	20	6	16
Dia 3	7	40	0	2	0	0	30	35
Dia 4	9	56	2	13	2	5	45	50
Dia 5	2	68	4	8	3	20	9	20
Dia 6	TODAS	TODAS	4	25	6	27	8	21
Dia 7	TODAS	TODAS	7	TODAS	8	36	9	10
Dia 8	TODAS	TODAS	8	TODAS	3	TODAS	12	11

Gráfica No 7. Representación del Tratamiento No2 Nasutitermes corniger al patógeno *Metarhizium anisopliae*



Cuadro y Gráfica No 7

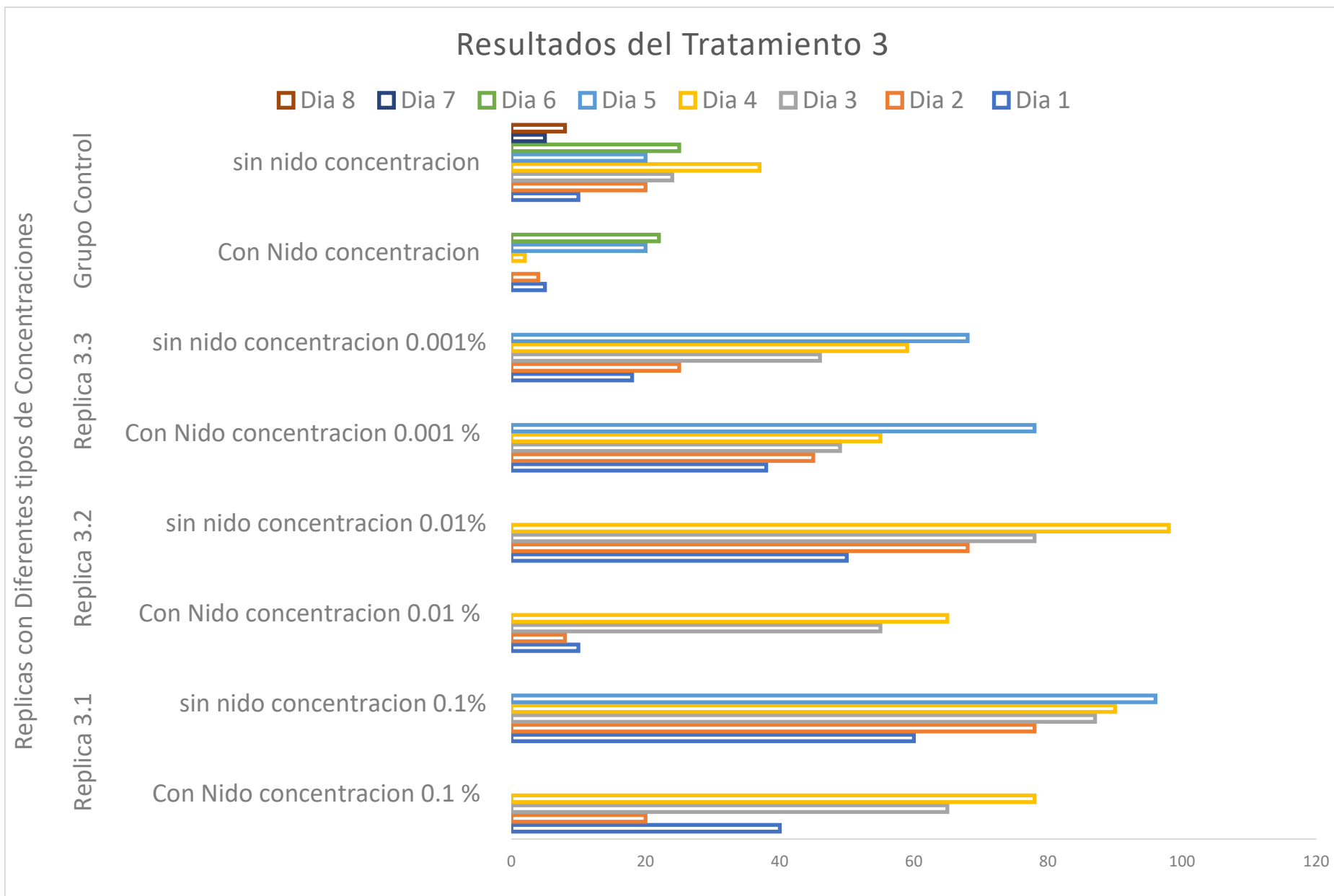
El tratamiento No 2, este posee un tipo de nido de *Nasutitermes corniger* en donde se encontraba en un lugar más árido y sin vegetación cercana de una alta fuente de celulosa (Fig. 49,50,51), esto hace que las termitas preparen su nido con fuentes diferentes a la celulosa, por esta razón este segundo tratamiento costa de un nido hecho de arena, a su vez se hace notable la diferencia en reacción al patógeno, con los notables cambios en la mortalidad de las termitas en los días en que fueron expuestas al patógeno *Metarhizium anisopliae*, esto puede interpretarse en base a la evolución de su nido, la arena suele absorber más la humedad en la parte externa del mismo y mantener el centro del nido seco y servir de refugio para las termitas dada a ser más adultas y menos ninfas y obreras esto permite refugiarse en el centro del nido, proporcionando respaldo, y cuidados necesarios para evitar la infestación del patógeno *Metarhizium anisopliae*, aun así podemos evidenciar que el porcentaje 0.1% sin nido poseen mayor mortalidad, a diferencia de del porcentaje menor 0.001% que aunque se puede notar pérdidas de individuos no en gran escala.

Este nido en particular muestra gran efecto protector del nido a los mecanismos de evasión inmune

Cuadro No 8 Tratamiento No 3, resultados de las 3 réplicas más el grupo control, con el patógeno en diferentes Concentraciones

Tratamiento No 3 Conteo de Mortalidad de la especie <i>Nasutitermes corniger</i> al patógeno <i>Metarhizium anisopliae</i>								
Replica No3	Replicas con Diferentes tipos de Concentraciones							
	Replica 3.1		Replica 3.2		Replica 3.3		Grupo Control	
Días contables de Mortalidad	Con Nido Concentración 0.1 %	sin nido Concentración 0.1%	Con Nido Concentración 0.01 %	sin nido Concentración 0.01%	Con Nido concentración 0.001 %	sin nido concentración 0.001%	Con Nido concentración	sin nido concentración
Dia 1	40	60	10	50	38	18	5	10
Dia 2	20	78	8	68	45	25	4	20
Dia 3	65	87	55	78	49	46	0	24
Dia 4	78	90	65	98	55	59	2	37
Dia 5	TODAS	96	TODAS	TODAS	78	68	20	20
Dia 6	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	22	25
Dia 7	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	0	5
Dia 8	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	TODAS	0	8

Grafica No 8. Representación del Tratamiento 3 *Nasutitermes corniger* al patógeno *Metarhizium anisopliae*



Cuadro y Gráfica No 8

El tratamiento No 3 cuenta con un nido reestructurado esto se debe a que las castas abandonaron su nido inicial esto conocido como plasticidad fenotípica, esto trae ventajas y desventajas en la colonia, en este caso la mayoría de individuos de esta colonia son aladas, esto hace vulnerable los individuos adultos como las ninfas, en este caso se observa que al someterlas al patógeno *Metarhizium anisopliae*, su reacción al contacto es mayor dada a que no cuentan con una ventaja defensiva al igual que los soldados el patógeno *Metarhizium anisopliae* de mayor 0.1% a menor 0.001% porcentaje es suficientemente mortal para esta casta en específico dado a que la madera absorbe más rápidamente y no brinda el resguardo necesario para los individuos, que busquen refugio en un nido inexistente.

Esta casta ha sido la más vulnerable dado a que su migración de nido principal quedó expuesta en un nido secundario de menor seguridad.

CONCLUSIONES

Finalizando este trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

Que la termita *Nasutitermes corniger* (Isóptera: Termitidae) si posee resistencia al patógeno *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae). dado a que alguno de los tratamientos aún posee individuos vivos.

Al examinar la resistencia de las termitas *Nasutitermes corniger* (Isóptera: Termitidae) tanto en presencia como en ausencia del nido, es posible optimizar la aplicación de este hongo (Patógeno *Metarhizium anisopliae*), con el fin de mejorar su efectividad en el control de plagas, minimizando el derroche de recursos y maximizando su efecto sobre las poblaciones de termitas.

El estudio demuestra cómo las interacciones sociales de las termitas, tales como la eliminación de individuos afectados y la organización del nido, pueden desempeñar un papel significativo en la prevención de enfermedades, lo que enriquece el entendimiento sobre la evolución de la inmunidad en los insectos que viven en comunidad.

Al comprender la función del nido en la resistencia de las termitas, se podrán desarrollar enfoques de BioControl más eficientes que disminuyan la dependencia de pesticidas químicos, fomentando la utilización de agentes biológicos para el manejo de termitas y otros insectos (plaga).

RECOMENDACIONES

- ✂ Que el trabajo realizado con el nido de *Nasutitermes corniger* (Isóptera: Termitidae) sobre la resistencia al patógeno *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae). Se realice a otros individuos de Isóptera.
- ✂ Aumentar la periodicidad de las fumigaciones en las colonias de Termitidae en la aplicación de agentes Biocontroladores para mayor efectividad del cuidado de los cultivos, plantas, materiales y la población humana.
- ✂ Establecer acuerdos con organizaciones que ofrezcan mayor apoyo en la fumigación contra plagas, asegurando que se proporcione información a los usuarios sobre cómo eliminar la plaga de manera segura y controlada.
- ✂ Implementar campañas informativas sobre métodos seguros de control de plagas que pueden ser aplicados en el hogar, en la agricultura, entre otros ámbitos.

BIBLIOGRAFÍA

Amisando. (sf). Función y partes del cuerpo de termitas: una guía completa. Recuperado de <https://amisando.es/control-de-termitas/funcion-y-partes-del-cuerpo-de-termitas-una-guia-completa/>

Asaff Torres, A., Y. Reyes Vidal, V.E. López y López, M. de la Torre, (2002). Guerra entre insectos y microorganismos: una estrategia natural para el control de plagas. Avance y Perspectiva 21:291_295.

Ax, P. (1987). The phylogenetic system: The systematization of organisms on the basis of their phylogenesis. Chichester: John Wiley y Sons.

Bacon, F. (2000). Novum Organum (P. Urbach & M. E. McCaskey, Eds.). Hackett Publishing Company. (Trabajo original publicado en 1620)

Bacon, F. (2000). *El nuevo organón* . Cambridge University Press.

Brown, G. C., Geden, C. J., & Rutz, D. A. (2000). Microbial control of house flies in caged-layer poultry facilities using formulations of *Beauveria bassiana*. *Biological Control*, 19(2), 96-105.

Brown, G. C., Geden, C. J., & Rutz, D. A. (2000). Microbial control of house flies in caged-layer poultry facilities using formulations of *Beauveria bassiana*. *Biological Control*, 19(2), 96-105.

Cloyd, R.A. (1999). "El hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae*" . Midwest Biological Control News. VI (7).

Charnley, A.K., S.A. Collins, (2007). Entomopathogenic fungi and their role in pest control. In: Kubicek, C.P., I.S. Druzhinina (eds.), Environmental and Microbial Relationship. The Mycota IV. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 159-187.

Chouvenc T, Su NY (2010) Sinergia aparente entre los mecanismos de defensa de las termitas subterráneas (Rhinotermitidae) contra eventos epizooticos: los límites y el potencial para el control biológico. J Econ Entomol 103: 1327–1337.

Chouvenc, T. , y Su , N.-Y. (2012). Cuando las termitas subterráneas desafían las reglas de las epizootias fúngicas. PLoS ONE, 7 (3), e34484 .
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034484>

Chouvenc, T., Efstathion, CA, Elliott, ML y Su, N.-Y. (2013). Resistencia extendida a enfermedades que surge del nido fecal de *Reticulitermes flavipes* (Isóptera : Rhinotermitidae). Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 280 (1768), 20131885.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2013.1885>

Chouvenc, T., Su, NY, y Robert, A. (2009). Encapsulación celular en la termita subterránea oriental, *Reticulitermes flavipes* (Isóptera), contra la infección por el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae*. Journal of Invertebrate Pathology, 101 (3), 234-241

Dechmann, D.K.N. Kalko, E.K.V. König, B. Kerth, G. (2005) Mating System of a Neotropical foost marking bat the white-throated. round-eared bat. *Lophostoma silvicolum* (Chiroptera Phyllostomidae). Behavioral Ecology and Sociobiology, 58 (3) 316-325.

Dutra, H. L. C., Santos, T. T., de Andrade, C. R., & Samuels, R. I. (2004). Susceptibility of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) to entomopathogenic fungi under laboratory conditions. Journal of Applied Entomology, 128(1), 21-24.

Engel, M. S., Grimaldi, D. A., & Krishna, K. (2009). Termites (Isóptera): Their phylogeny, classification, and rise to ecological dominance. *American Museum Novitates*, 3650, 1-27. <https://doi.org/10.1206/653.1>

Este estudio aporta datos sobre los mecanismos de invasión del hongo, las respuestas inmunológicas de las termitas y la influencia de factores ambientales en la propagación de infecciones, lo que puede ser útil para futuras investigaciones en estos campos.

Evans, H. C., Elliot, S. L., & Hughes, D. P. (2013). Hidden diversity behind the zombie-ant fungus *Ophiocordyceps unilateralis*: Four new species described from carpenter ants in Minas Gerais, Brazil. *PLoS ONE*, 8(7), e67818.

Evans, T. A., Forschler, B. T., & Grace, J. K. (2013). Biology of invasive termites: a worldwide review. *Annual Review of Entomology*, 58, 455-474.

Faria, M. R., & Wraight, S. P. (2007). Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological Control*, 43(3), 237-256.

Fasoranti, J. O., & Ajiboye, D. O. (1993). Some edible insects of Kwara State, Nigeria. *American Entomologist*, 39(2), 113-116.

Fernandes, É. K. K., Rangel, D. E. N., Braga, G. U. L., & Roberts, D. W. (2008). Tolerance of entomopathogenic fungi to ultraviolet radiation: A review on screening of strains and their formulation. *Mycoscience*, 49(6), 337-349

Frazzon, G.A.P., Vaz Jr., S.I., Masuda, A., Schrank, A., Vainstein, H.M., 2000. In vitro assessment of *Metarhizium anisopliae* isolates to control the cattle tick *Boophilus microplus*. *Vet. Parasitol.* 94, 117–125.

Freimoser, F. M.; Screen, S.; Bagga, S.; Hu, G. & St. Leger, R.J. (2003). "EST analysis of two subspecies of *M. anisopliae* reveals a plethora of secreted proteins with potential activity in insect hosts". *Microbiology*. 149 (Pt 1): 239–247. doi:10.1099/mic.0.25761-0. PMID 12576597

González, M. H., & Aristizábal, L. F. (2017). Estudio del desarrollo postembrionario de *Nasutitermes corniger* (Motschulsky, 1855) (Isóptera: Termitidae) en condiciones de laboratorio. *Revista Sociedad Entomológica Argentina*, 76(3-4), 1-8. <https://www.biotaxa.org/RSEA/article/view/33726/29872>

Hellemans, S., Rocha, M. M., Wang, M., Romero Arias, J., Aanen, D. K., Bagnères, A., Buček, A., Carrijo, T. F., Chouvenc, T., Cuezco, C., Constantini, J. P., Constantino, R., Dedeine, F., Deligne, J., Eggleton, P., Evans, T. A., Hanus, R., Harrison, M. C., Harry, M., . . . Bourguignon, T. (2024). Genomic data provide insights into the classification of extant termites. *Nature Communications*, 15(1), 1-17. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51028-y>

Hellemans, S., Rocha, M.M., Wang, M. et al. Genomic data provide insights into the classification of extant termites. *Nat Commun* 15, 6724 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-51028-y>

Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed., p. 4). McGraw-Hill.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6^a ed.). México: McGraw-Hill Education.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6^a ed.). México: McGraw-Hill Education.

Inglis, G. D., Goettel, M. S., Butt, T. M., & Strasser, H. (2001). Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In *Fungi as Biocontrol Agents* (pp. 23-69). CABI Publishing.

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.

Inward DJ, Vogler AP, Eggleton P. 2007. A comprehensive phylogenetic analysis of termites (Isóptera) illuminates key aspects of their evolutionary biology. *Molecular phylogenetics and evolution*, 44(3), 953-967.

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

Jouquet, P., Traoré, S., Choosai, C., Hartmann, C., & Bignell, D. (2011). Influence of termites on ecosystem functioning: Ecosystem services provided by termites. *European Journal of Soil Biology*, 47(4), 215-222.

Jouquet, P., Traoré, S., Choosai, C., Hartmann, C., & Bignell, D. (2011). Influence of termites on ecosystem functioning: Ecosystem services provided by termites. *European Journal of Soil Biology*, 47(4), 215-222.

Kepler, R. M., Humber, R. A., Bischoff, J. F., & Rehner, S. A. (2014). Clarification of generic and species boundaries for *Metarhizium* and related fungi through multilocus phylogenetics. *Mycologia*, 106(4), 811-829.

Krishna, K., & Weesner, F. M. (1970). *Biology of termites*. Academic Press.

Krishna, K., Grimaldi, D. A., Krishna, V., & Engel, M. S. (2013). Treatise on the Isóptera of the world. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 377(6), 1-270.

Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., & Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 1-41.

Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M., & Goettel, M. S. (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 1-41.

Los resultados indican que los individuos que permanecen en su nido tienen una mayor capacidad para resistir el ataque del hongo, lo que sugiere que el nido no solo sirve como refugio, sino también como una barrera protectora que reduce la vulnerabilidad de la colonia ante patógenos

Marmaras, V.J., N.D. Charalambidis, C.G. Zervas, (1996). Immune response in insects: the role of phenoloxidase in defense reactions in relation to melanization and sclerotization. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 31:119-133.

Mascarin, G. M., Kobori, N. N., Quintela, E. D., & Delalibera, I. (2013). Interactions between the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and neonicotinoid insecticides: Implications for insect mortality and development. *Pest Management Science*, 69(5), 669-678.

Mascarin, G. M., Kobori, N. N., Quintela, E. D., & Delalibera, I. (2013). Interactions between the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and neonicotinoid insecticides: Implications for insect mortality and development. *Pest Management Science*, 69(5), 669-678.

Mathews A. (1977) Studies on Termite from the Matto Grosso State Brazil Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciencias pp. 267

McNeil, D. G. Jr. (2005). "Hongo mortal al mosquito puede ayudar a la guerra mundial contra la malaria" . El New York Times . 104 : 135-151.

McNeil, J. N. (2005). Arthropod pheromones and defensive compounds. In: Gilbert, L. I., Iatrou, K., & Gill, S. S. (Eds.), *Comprehensive Molecular Insect Science* (pp. 617-642). Elsevier

Meyling, N. V., & Eilenberg, J. (2007). Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation biological control. *Biological Control*, 43(2), 145-155.

Mill, J. S. (1843). *A System of Logic* (8th ed.). John W. Parker and Son.

Mill, J. S. (1843). *A System of Logic: ratiocinative and inductive*, John W. Parker, London.

Monzón A (2001) Producción, uso y control de calidad de hongos entomopatógenos en Nicaragua. *Manejo Integrado de Plagas*. (CATIE, Costa Rica) 63: 95-103.

Nalepa, C. A. (2011). Altricial development in wood-feeding cockroaches: the key to termite evolution. *Biology of termites: a modern synthesis*, 69-95.

Nickle D., Collins M. (1992) The Termites of Panama (Isóptera) pp. 208-241 In: *Insects of Panama and Mesoamerica Selected studies* Quintero D. And Aiello A. (Ed) Oxford University Press.

Noirot, C., & Pasteels, J. M. (1987). Ontogenetic development and evolution of the worker caste in termites. *Experientia Supplementum*, 54, 231-246.

Pest Management Professional. (2024, octubre 4). *Researchers unveil new comprehensive termite classification system*. <https://www.mypmp.net/2024/10/04/researchers-unveil-new-comprehensive-termite-classification-system/>

Popper, K. (2005). *La lógica de la investigación científica*. Losada. (Trabajo original publicado en 1934)

Popper, K. (2005). *The logic of scientific discovery*. Routledge.

Prestwich GD, Bentley BL, Carpenter EJ. Nitrogen sources for neotropical nasute termites: Fixation and selective foraging. *Oecologia*. 1980 Sep;46(3):397-401. doi: 10.1007/BF00346270. PMID: 28310050.

Pugliese, M., Gullino, M. L., & Garibaldi, A. (2015). Influence of environmental conditions on the efficacy of biocontrol agents against fungal plant diseases. *Journal of Plant Pathology*, 97(3), 373-384.

Pugliese, M., Gullino, M. L., & Garibaldi, A. (2015). Influence of environmental conditions on the efficacy of biocontrol agents against fungal plant diseases. *Journal of Plant Pathology*, 97(3), 373-384.

Rangel, D. E. N., Braga, G. U. L., Fernandes, É. K. K., Keyser, C. A., Hallsworth, J. E., & Roberts, D. W. (2005). Stress tolerance and virulence of insect-pathogenic fungi are determined by environmental conditions. *Mycologia*, 97(5), 1125-1133

Rosengaus, R. B., Jordan, C., Lefebvre, M. L., & Traniello, J. F. A. (1999). Pathogen alarm behavior in a termite: a new form of communication in social insects. *Naturwissenschaften*, 86(11), 544-548. <https://doi.org/10.1007/s001140050672>

Rosengaus, RB, Guldin, MR y Traniello, JFA (1998). Inhibición de la germinación de esporas de hongos por *Nasutitermes* : evidencia de un posible papel antiséptico de las secreciones defensivas de los soldados. *Journal of Chemical Ecology* , 24 (5), 955-970 . <https://doi.org/10.1023/A:1022374618571>

Rosengaus, RB, Guldin, MR y Traniello, JFA (1998). Inhibición de la germinación de esporas de hongos por *Nasutitermes*: evidencia de un posible papel antiséptico de las secreciones defensivas de los soldados. *Journal of Chemical Ecology*, 24 (5), 955-970. <https://doi.org/10.1023/A:1022374618571>

Scheffrahn, RH y col. (2005). *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) (Insecta: Isóptera: Termitidae). Extensión IFAS de la Universidad de Florida. Recuperado de https://sta.uwi.edu/fst/lifesciences/sites/default/files/lifesciences/documents/ogatt/Nasutitermes_corniger%20-%20Conehead%20Termite.pdf

Schmid-Hempel, P. (2005). Evolutionary ecology of insect immune defenses. *Annual Review of Entomology*, 50, 529-551.

Schmid-Hempel, P. (2005). Evolutionary ecology of insect immune defenses. *Annual Review of Entomology*, 50, 529-551.

Spardo, D., M. L. Gullino, (2004). State of the art future prospects of biological control of postharvest fruit diseases. *International Journal of Food Microbiology* 91: 185-194.

St. Leger, R. J., Joshi, L., Bidochka, M. J., & Roberts, D. W. (1992). Adaptation of *Metarhizium anisopliae* for growth in diverse environments. *Journal of Bacteriology*, 174(15), 5105-5114.

Stamets, P. (2005). Mycelium running: How mushrooms can help save the world. Ten Speed Press

Sun, J., Fuxa, J. R., & Henderson, G. (2003). Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against Formosan subterranean termites (*Coptotermes formosanus*). *Journal of Invertebrate Pathology*, 84(1), 32-40. [https://doi.org/10.1016/S0022-2011\(03\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0022-2011(03)00006-8)

Thorne, B. L. (1982). Polygyny in the Neotropical termite *Nasutitermes corniger*: life history consequences of queen mutualism. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 10(2), 117-123.

Thorne, B. L. (1983). Alate production and sex ratio in colonies of the Neotropical termite *Nasutitermes corniger* (Isóptera; Termitidae). *Oecologia*, 58(1), 103-109..

Thorne, B. L. (1997). Evolution of eusociality in termites. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28(1), 27-54.

Thorne, Barbara L. (1980). "Differences in Nest Architecture Between the Neotropical Arboreal Termites, *Nasutitermes corniger* and *Nasutitermes ephratae* (Isóptera: Termitidae)". *Psyche: A Journal of Entomology*. 87 (3–4): 235–244. doi:10.1155/1980/12305

*Thorne, Barbara L. (1980). "[Differences in Nest Architecture Between the Neotropical Arboreal Termites, Nasutitermes corniger and Nasutitermes ephratae\(Isóptera: Termitidae\)](https://doi.org/10.1155/1980/12305)".*Psyche*. 87: 235–244. doi:10.1155/1980/12305*

University of Florida. (2024, septiembre 11). *International team of scientists make taxonomic breakthrough by rewriting the termite dictionary.*

<https://blogs.ifas.ufl.edu/news/2024/09/11/international-team-of-scientists-make-taxonomic-breakthrough-by-rewriting-the-termite-dictionary/>

Vega, F. E., Goettel, M. S., Blackwell, M., Chandler, D., Jackson, M. A., Keller, S., & Pell, J. K. (2009). Fungal entomopathogens: New insights on their ecology. *Fungal Ecology*, 2(4), 149-159.

Wright, M. S., & Lax, A. R. (2005). Impact of *Metarhizium anisopliae* and temperature on *Reticulitermes flavipes*. *Environmental Entomology*, 34(5), 1123-1129. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-34.5.1123>

Yanagawa, A., y Shimizu, S. (2007). Mecanismo de defensa de la termita, *Coptotermes formosanus* Shiraki, frente a hongos entomopatógenos. *Journal of Invertebrate Pathology*, 95 (2), 91-97 . <https://doi.org/10.1016/j.jip.2007.02.001>

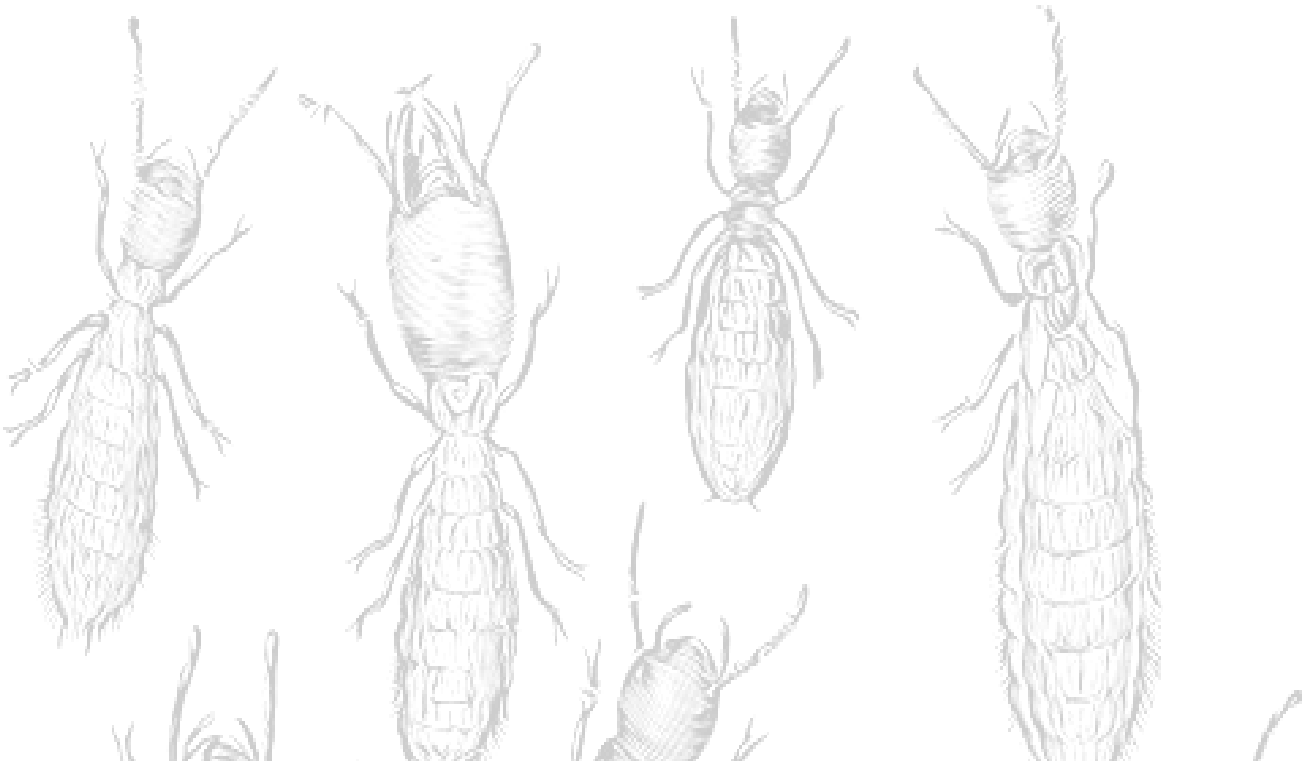
Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(9), 553-596.

GLOSARIO

1. **Adaptación:** Cambios en el comportamiento de los insectos para evitar infecciones, como la eliminación de individuos enfermos.
2. **Autodepuración social:** Estrategia de insectos sociales en la que eliminan individuos enfermos para prevenir la propagación de enfermedades.
3. **Basiónimo:** el nombre científico original con el que se describió una especie o taxón por primera vez
4. **Biocontrol:** Uso de organismos vivos para controlar plagas y enfermedades en cultivos y ecosistemas.
5. **Colonia:** Grupo de insectos sociales que cooperan en actividades como la alimentación, defensa y cría.
6. **Competencia microbiana:** Interacción entre microorganismos en la que compiten por recursos en un huésped o ambiente.
7. **Cutícula:** Capa externa protectora de los insectos que actúa como barrera contra patógenos.
8. **Defensas celulares:** Respuesta inmune basada en la acción de hemocitos que fagocitan patógenos.
9. **Defensas humorales:** Mecanismos de inmunidad en insectos que incluyen la producción de péptidos antimicrobianos y melanización.
10. **Dispersión de esporas:** Mecanismo por el cual los hongos liberan sus esporas en el ambiente para infectar nuevos huéspedes.
11. **Efecto protector del nido:** Fenómeno en el que la estructura del nido proporciona barreras físicas y sociales que reducen la propagación de enfermedades.

12. **Enemigos naturales:** Organismos que regulan las poblaciones de plagas, incluyendo depredadores, parasitoides y patógenos.
13. **Entomopatógeno:** Microorganismo, como bacterias, virus u hongos, que causa enfermedades en insectos.
14. **Epizootia:** Enfermedad que afecta a una gran cantidad de individuos dentro de una población de insectos en un periodo determinado.
15. **Especificidad del huésped:** Capacidad de un patógeno de infectar solo ciertas especies de organismos.
16. **Esporas:** Estructuras reproductivas de los hongos que pueden dispersarse y germinar en condiciones adecuadas.
17. **Feromonas:** Sustancias químicas liberadas por los insectos para advertir a sus congéneres de una amenaza, como la presencia de un patógeno.
18. **Forrajeo:** Búsqueda de alimento por parte de los insectos en su entorno.
19. **Hemocele:** Cavidad corporal de los insectos donde circula la hemolinfa y ocurre la respuesta inmune.
20. **Inmunidad:** Primera línea de defensa de los insectos contra patógenos, basada en barreras físicas y respuestas celulares.
21. **Insecticida biológico:** Producto derivado de microorganismos naturales utilizados para el control de plagas.
22. **Interacción insecto-hongo:** Relación ecológica entre insectos y hongos, que puede ser mutualista o parasítica.
23. **La trofalaxia:** es un proceso de intercambio de alimentos y feromonas entre individuos de una colonia, como abejas o hormiga.

24. **Mecanismos de evasión inmune:** Estrategias utilizadas por los patógenos para evitar la detección y eliminación por el sistema inmune del huésped.
25. **Melanización:** Respuesta inmune en insectos en la que se deposita melanina para encapsular patógenos.
26. ***Metarhizium anisopliae*:** Hongo entomopatógeno ampliamente utilizado en el control biológico de plagas.
27. **Microbiota:** Comunidad de microorganismos que viven en asociación con un organismo huésped, influyendo en su inmunidad y metabolismo.
28. **Mortalidad:** Aumento en la tasa de muerte en una población debido a factores externos, como infecciones.
29. ***Nasutitermes corniger*:** Especie de termita arbórea de los neotrópicos que construye nidos en árboles.
30. **Patogenicidad:** Capacidad de un microorganismo para causar enfermedad en un huésped.
31. **Patógeno:** Organismo que causa enfermedad en otro ser vivo.
32. **Péptidos antimicrobianos:** Sustancias producidas por los insectos para defenderse contra infecciones.
33. **Plasticidad fenotípica:** Capacidad de un organismo para modificar su fisiología o comportamiento en respuesta a su entorno.
34. **Resistencia:** Capacidad de un organismo para soportar o evitar infecciones o enfermedades.
35. **Señales de densidad poblacional:** Factores que regulan la inmunidad en insectos sociales en función de la cantidad de individuos en una colonia.



ANEXOS

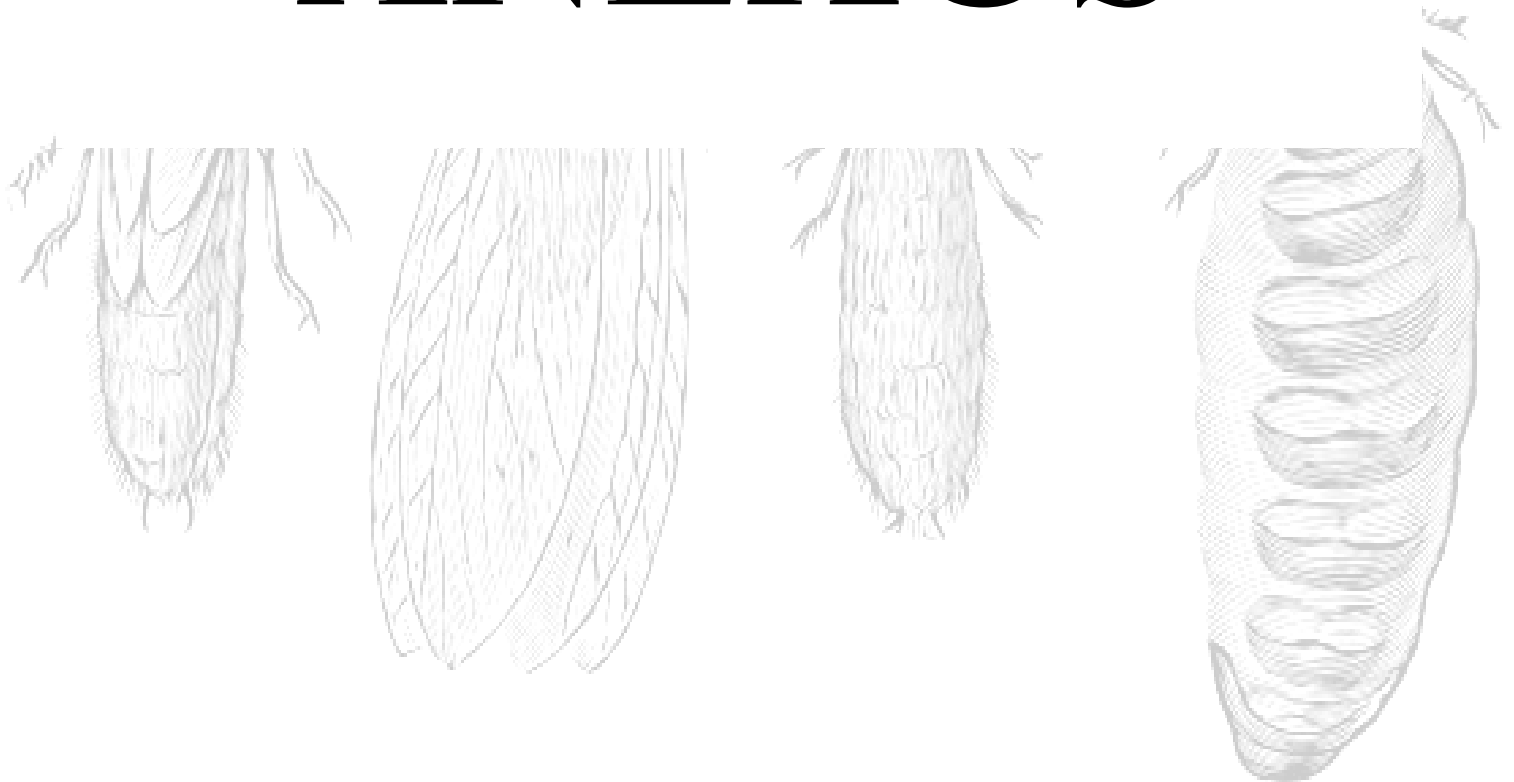




Figura. 41 Imágenes en donde se Ubica a la investigadora principal(Andrea Maestre) en la instrumentación para la toma de fotos de los ejemplares

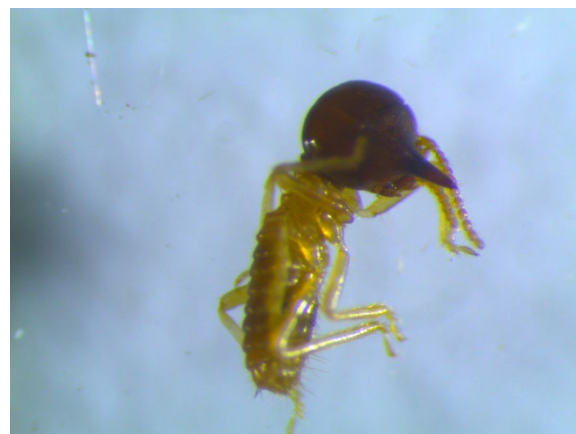
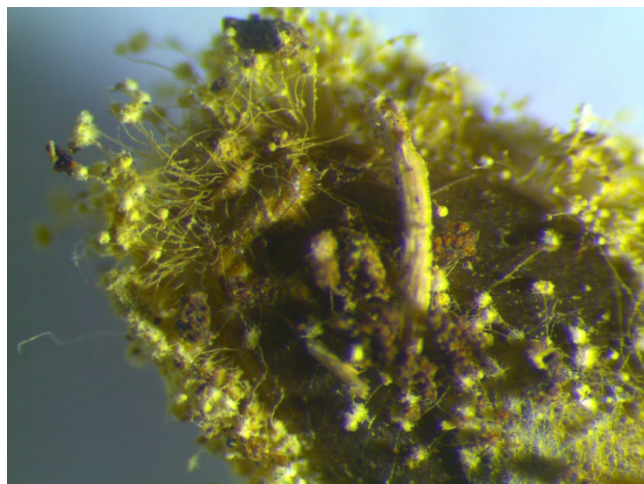
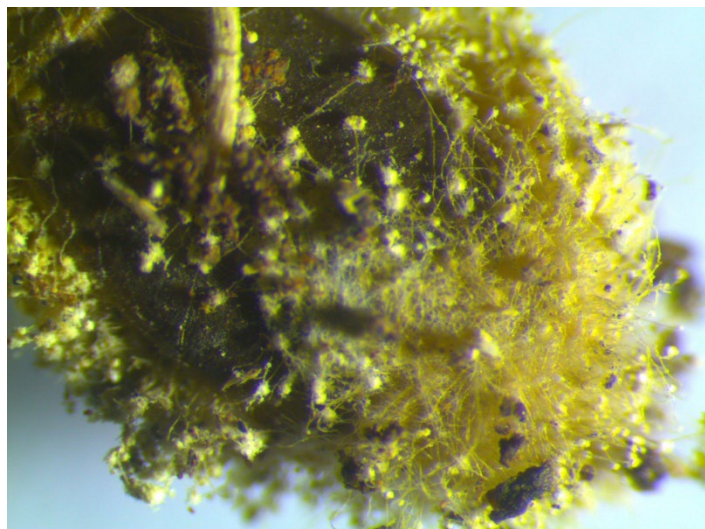


Figura. 42 Ejemplares de *Termitas Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) contaminadas con el patógeno *Metarhizium anisopliae* bajo el lente del estereoscopio.

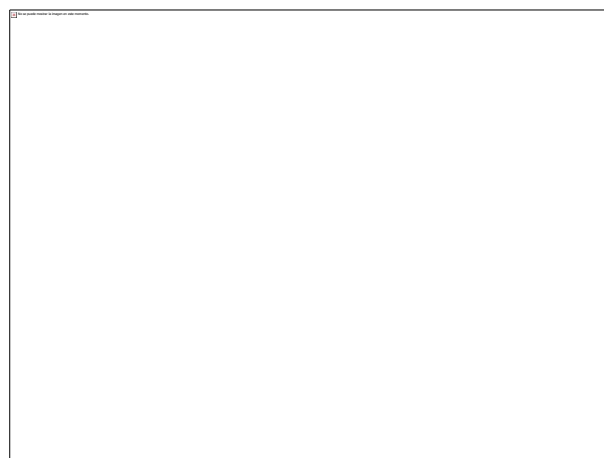
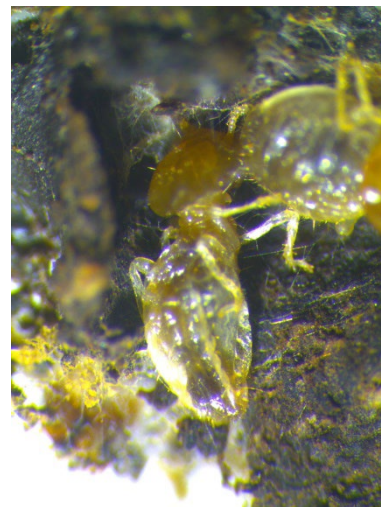
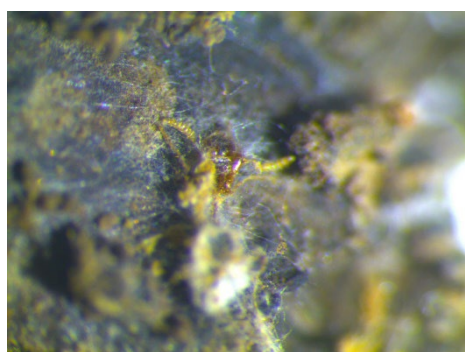


Figura. 43 Ejemplares de *Termitas Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) contaminadas con el patógeno *Metarhizium anisopliae* bajo el lente del estereoscopio.

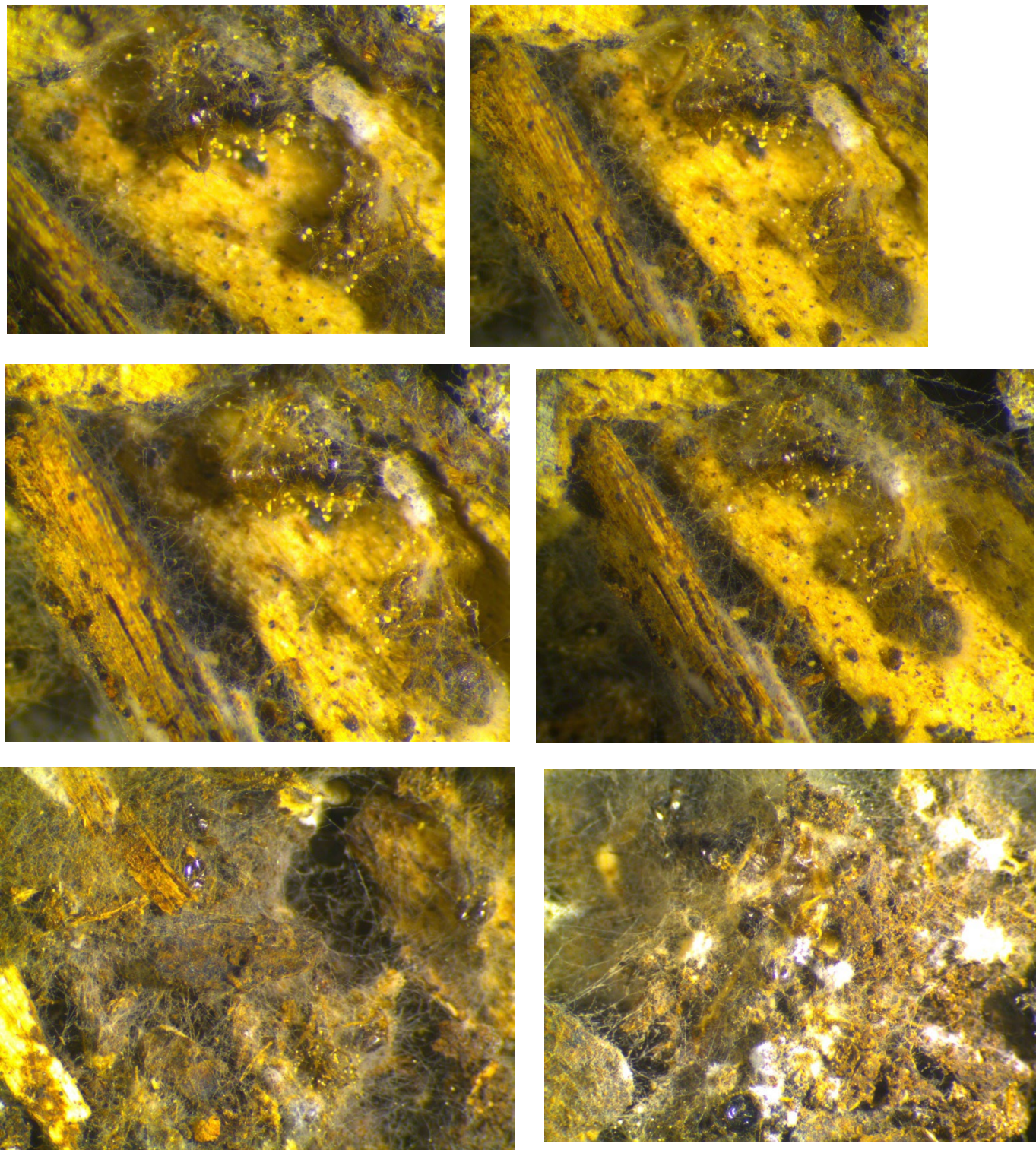


Figura. 44 Ejemplares de *Termitas Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) contaminadas con el patógeno *Metarhizium anisopliae* bajo el lente del estereoscopio.

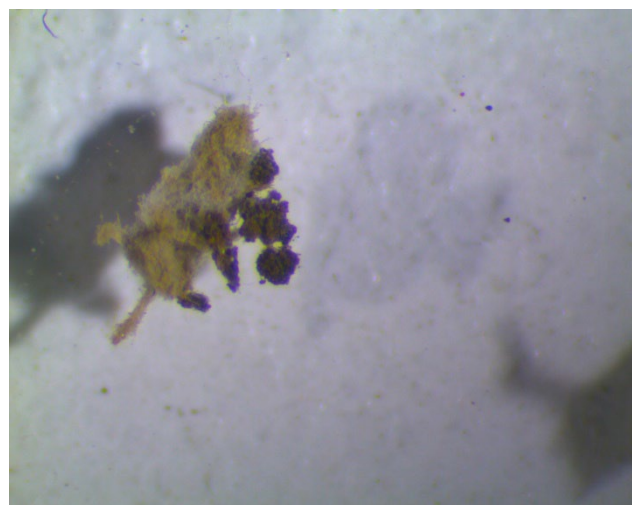
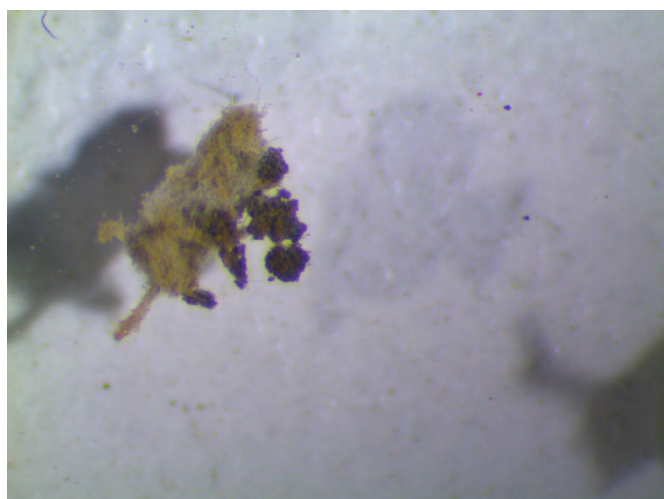
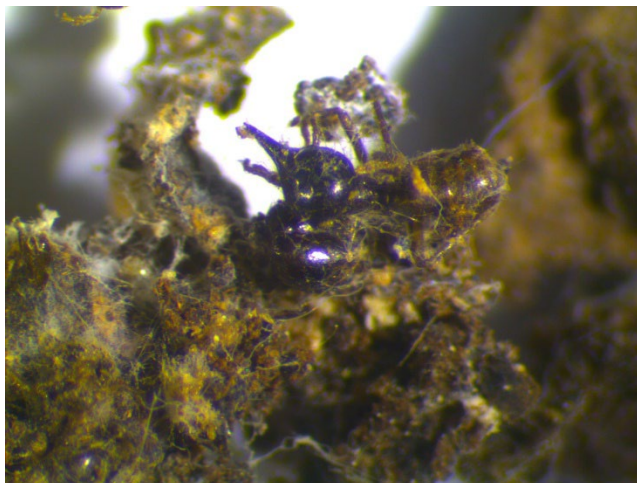
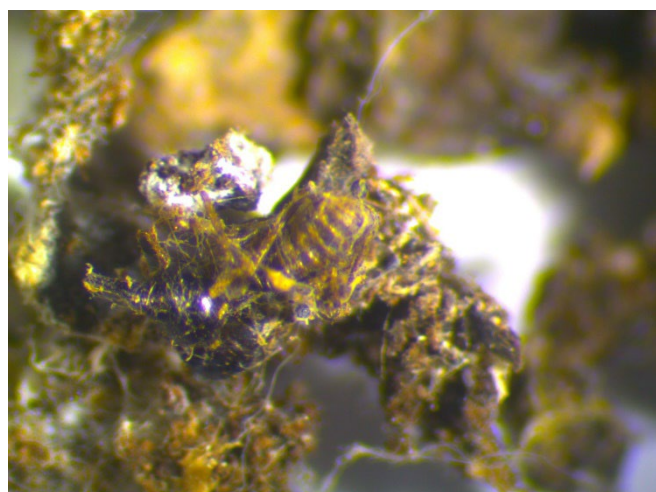
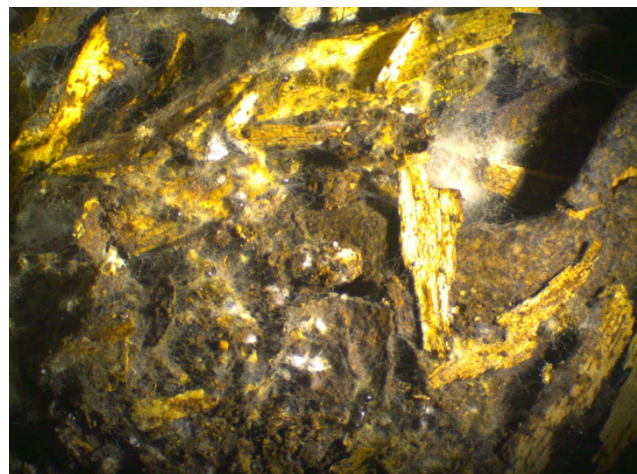
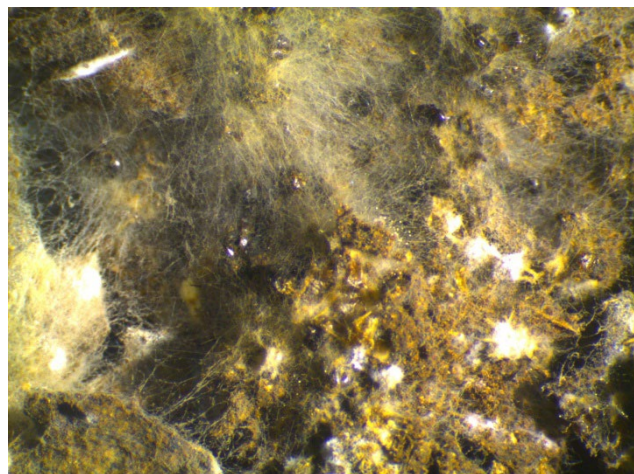
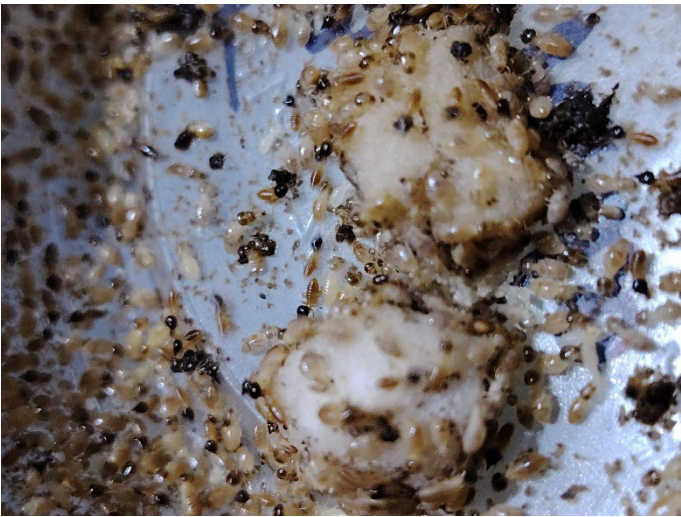
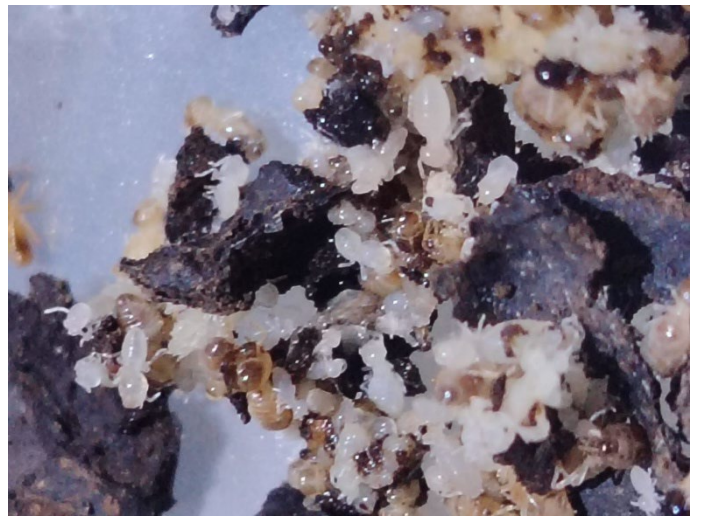


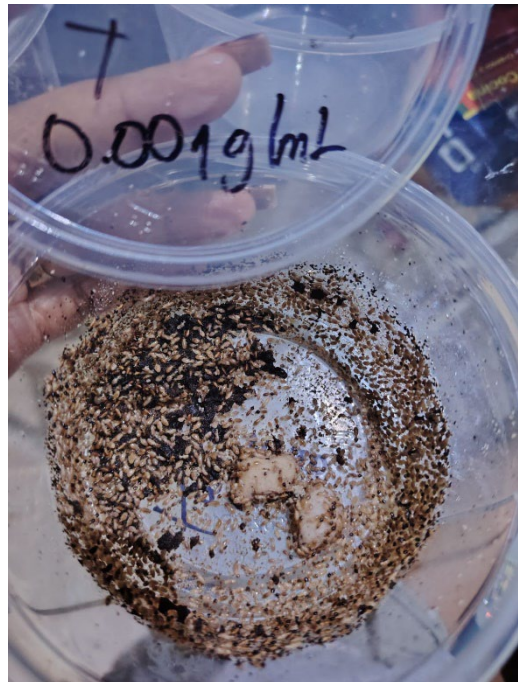
Figura. 45 Ejemplares de *Termitas Nasutitermes corniger* (Isoptera: Termitidae) contaminadas con el patógeno *Metarhizium anisopliae* bajo el lente del estereoscopio.

Termitero 1

Figura 46, 47,48. Ejemplares del primer termitero y sus, mayormente los soldados con un tono más anaranjado las ninfas con tono más blanquecino incluyendo cuidadoras de los huevos.







Termitero 2

Figura 49,50, 51 Ejemplares del segundo termitero y sus diferentes castas, mayormente los soldados con un tono ms anaranjado demostrando mayor edad en el nido.







Termitero 3

Figura 52,53 Ejemplares del tercer termitero y sus diferentes castas, mayormente las aladas, como casta mayoritaria, y sus otras castas minoritarias.



