

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS (*Beauveria bassiana* y
Metarhizium anisopliae) PARA EL CONTROL DE HORMIGAS CORTADORAS DE
HOJAS (*Atta* spp) EN EUCALIPTO; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA
TESIS DE GRADO

ALEX ALBERTO HERNÁNDEZ
CARNET 21829-03

ESCUINTLA, MARZO DE 2016
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EVALUACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS (*Beauveria bassiana* y
Metarhizium anisopliae) PARA EL CONTROL DE HORMIGAS CORTADORAS DE
HOJAS (*Atta* spp) EN EUCALIPTO; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
ALEX ALBERTO HERNÁNDEZ

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, MARZO DE 2016
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR:	P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA:	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA:	ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA:	MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. LUIS ALFREDO VELA HERRERA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES

MGTR. DANILO ERNESTO DARDÓN ÁVILA

LIC. EDGAR ARTURO GARCIA SALAS CORDON

Febrero de 2016

Honorables Miembros del Consejo
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Campus Central
Guatemala, Ciudad

Respetables Miembros del Consejo:

Por este medio informo a ustedes que he asesorado al estudiante: Alex Alberto Hernández, carné 21929-03, en la elaboración de su trabajo de tesis titulado:

"EVALUACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*) PARA EL CONTROL DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS (*Atta* spp.), EN EUCALIPTO; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA".

Considero que el mismo cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, de la Universidad Rafael Landívar, por lo tanto, sugiero su aprobación y publicación.

Sin otro particular,

Atentamente.



Ing. Agr. Luis Alfredo Vela Herrera
Colegiado: 3570

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante ALEX ALBERTO HERNÁNDEZ, Carnet 21829-03 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 0613-2016 de fecha 24 de febrero de 2016, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*) PARA EL CONTROL DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS (*Atta* spp) EN EUCALIPTO; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 8 días del mes de marzo del año 2016.


ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que me dio la vida, la sabiduría y la bendición de superarme.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

Ing. Luis Alfredo Vela Herrera, por su asesoría, revisión y corrección del presente documento.

Ing. Pedro Cardona Sandoval, por su asesoría y apoyo.

DEDICATORIA

A:

Dios: Quién siempre me da su infinito amor, fortaleza para superar las diferentes etapas de la vida y me bendice con las personas que me rodean.

Mis padres: Rosa Jiménez (QEPD) y Angélica Hernandez a quienes quiero mucho, por su inmenso amor, por su tiempo, sus consejos oportunos y por su ejemplo a seguir.

Mi esposa: Maria Teresa, por su apoyo incondicional, amor y dedicación.

Mis hijos: Alejandro y Ricardo que los amo mucho, por ser la razón de mi esfuerzo, mi alegría y la motivación constante de superación.

Mi familia: Hermanos, tíos, primos, sobrinos y cuñadas que de una u otra forma han contribuido en mi formación.

Mis amigos: Por su apoyo, compañía y formar parte de mi desarrollo integral, con mucho aprecio.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pagina
RESUMEN.....	i
SUMMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	2
2.1. EL ZOMPOPO	2
2.1.1. Características morfológicas del zompopo	2
2.1.2. Taxonomía del zompopo	2
2.1.3. Organización y distribución de actividades.....	3
2.1.4. Ciclo de vida del zompopo.....	4
2.1.5. Formación de la colonia	4
2.1.6. Alimentación.....	5
2.1.7. Comunicación entre zompopos	6
2.1.8. Comportamiento del zompopo.....	6
2.2. GENERALIDADES DE LOS HONGOS ENTOMOPATÓGENOS	6
2.2.1. Principales ventajas.....	8
2.2.2. Principales desventajas	8
2.2.3. Mecanismo de infección de los hongos entomopatógenos	9
2.3. <i>Metarhizium anisopliae</i>	10
2.3.1. Clasificación taxonómica.	10
2.3.2. Descripción.....	11
2.4. <i>Beauveria bassiana</i>	11
2.4.1. Clasificación taxonómica	11
2.4.2. Descripción.....	12
2.5. TERMINATOR® 1.5 DP	12
2.6. <i>Eucalyptus urograndis</i>	13
2.7. ANTECEDENTES.....	13
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15

Contenido	Página
3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
IV. OBJETIVOS	16
4.1. GENERAL.....	16
4.2. ESPECÍFICOS.....	16
V. HIPÓTESIS.....	17
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	18
6.1. LOCALIZACIÓN.....	18
6.2. MATERIAL EXPERIMENTAL.....	18
6.3. FACTORES ESTUDIADOS	18
6.4. DESCRIPCION DE LOS TRATAMIENTOS	19
6.5. UNIDAD EXPERIMENTAL.....	19
6.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	20
6.7. MODELO ESTADISTICO.....	20
6.8. CROQUIS DE CAMPO	21
6.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO	22
6.10. VARIABLES RESPUESTA	22
6.10.1. Porcentaje de mortalidad de <i>Atta</i> spp.	22
6.10.2. Eficacia del control.....	23
6.10.3. Costos	23
6.11. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	23
6.11.1. Análisis estadístico	23
6.11.2. Análisis de costos	23
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
7.1 PORCENTAJE DE MORTALIDAD	24
7.2 ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA MÚLTIPLE DE MEDIAS.....	25
7.3. COSTOS.....	26
VIII. CONCLUSIONES	29
IX. RECOMENDACIONES.....	30
X. BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXOS.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1. Descripción de tratamientos.....	19
Cuadro 2. Clasificación de troneras de acuerdo su tamaño.....	20
Cuadro 3. Esquema de tratamientos/tronera/bloque/sitio/	21
Cuadro 4. Comportamiento en porcentaje promedio de los tratamientos.	24
Cuadro 5. Análisis de varianza para los porcentajes de infestación de los tratamientos	25
Cuadro 6. Prueba múltiple de medias de Tukey	26
Cuadro 7. Costos de aplicación del control químico Terminator	26
Cuadro 8. Costos de aplicación de <i>Metarhizium anisopliae</i>	27
Cuadro 9. Costo de aplicación de <i>Beauveria bassiana</i>	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 1. Zompopo	02
Figura 2. Sitio 1 y 2, Finca Las Delicias Baúl, Santa Lucía Cotzumalguapa	21
Figura 3. Sitio 1, ubicación de las troneras en campo.	37
Figura 4. Sitio 2, ubicación de troneras en campo.	38
Figura 5. Conteo de zompopos.	39
Figura 6. Aplicación de hongos entomopatógenos.	39
Figura 7. Aplicación de productos.....	40
Figura 8. Planta de reciente establecimiento	40
Figura 9. Planta defoliada por zompopos.	41
Figura 10. Zompopos en actividad alrededor de la tronera.	41

EVALUACIÓN DE HONGOS ENTOMOPATÓGENOS (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*) PARA EL CONTROL DE HORMIGAS CORTADORAS DE HOJAS (*Atta* spp.) EN EUCALIPTO; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA.

RESUMEN

Para el control del zompopo, la empresa Pantaleón S.A. ha utilizado el producto químico Chlorpyrifos, comercialmente denominado Terminator®; sin embargo, dicho componente está presente en el listado de productos moderadamente peligrosos, descrito por la Organización Mundial de la Salud. Derivado de los compromisos de la empresa con los estándares de calidad y medio ambiente, se decide que se requiere de otras alternativas viables para su control. En países como Brasil y Cuba, entre otros, se han desarrollado investigaciones sobre la utilización de hongos entomopatogenos, tales como: *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. Dichas investigaciones informan sobre resultados en donde se han alcanzado efectividades biológicas superiores al 90% en algunas especies de *Atta*, bajo ciertos parámetros y condiciones. Con base en estas investigaciones, se desarrolló el presente trabajo, en donde se evaluó la efectividad y costo de los hongos antes mencionados, versus el control químico. Durante los 30 días de la evaluación, *Beauveria bassiana* logró reducir hasta el 3.42%, *Metarhizium anisopliae* redujo la infestación hasta el 33 % y el producto Terminator inicialmente redujo la infestación hasta 15.76 % en 10 días; sin embargo, al día 30, la población de zompopos se recuperó hasta un 80 %. El producto de menor costo de aplicación por tronera fue: Terminator® (Q 33.59) seguido por *Beauveria bassiana* (Q 332.56) y finalmente el *Metarhizium anisopliae* con (Q 333.52). Los hongos entomopatogenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* redujeron la infestación de zompopos y pueden ser utilizados para el control de los mismos.

EVALUATION OF ENTOMOPATHOGENIC FUNGI (*Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*) TO CONTROL LEAFCUTTER ANTS (*Atta* spp.) IN EUCALYPTUS; SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA

SUMMARY

To control leafcutter ants, the Pantaleón S.A. company has used the Chlorpyrifos chemical product; however, such component is enlisted by the World Health Organization among the products slightly dangerous. As part of the company's commitments regarding quality and environment standards, it was decided to find other viable alternatives to control the same. Therefore, the effectiveness and management cost of *Atta* spp. with *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* fungi, compared with Chlorpyrifos, was evaluated. The evaluation was carried out during a 30-day period; *Beauveria bassiana* was able to reduce the infestation up to 3.42%, while *Metarhizium anisopliae* reduced it by 33%. The entomopathogenic fungi usually reduce the population because when there are proper conditions they can reproduce and renew continuously, while the chemical control initially reduced the infestation up to 15.76% within 10 days, but after 30 days the population of leafcutter ants recovered up to 80%. The cheapest product applied per anthill was: Chlorpyrifos (Q 33.59), followed by *Beauveria bassiana* (Q 332.56), and finally by *Metarhizium anisopliae* with (Q 333.52). The *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* entomopathogenic fungi reduced the infestation of leafcutter ants and can be used to control the same.

I. INTRODUCCIÓN

Los zompopos u hormigas cortadoras de hojas, de los géneros *Atta* y *Acromyrmex*, pertenecen al orden Hymenoptera, familia Formicidae. Viven en colonias organizadas, con castas definidas y altamente sociales. Estos dos géneros de hormigas son consideradas las plagas defoliadoras de mayor importancia en Meso América. Afectan a toda clase de plantas incluyendo frutales, granos básicos, hortalizas, árboles forestales y plantas ornamentales (Pérez, sf; citado por Banderas, 2004).

Las hormigas arrieras o cortadoras de hojas (*Atta cephalotes*) exclusivas de regiones tropicales y subtropicales, se reportan como una de las plagas más importantes de Suramérica y Colombia. El manejo de este insecto se ha fundamentado en el uso de insecticidas químicos; sin embargo, su baja especificidad, alta toxicidad, efectos desfavorables para el ambiente y la generación de poblaciones de insectos resistentes, han llegado a considerar el uso de agentes biológicos para su manejo (Lemus, Rodríguez, Cuervo, Durán, Zulaga y Rodríguez, 2008.)

Ciertos hongos entomopatógenos presentan potencial de ser utilizados en el control biológico de zompopos (Jaccoud, 2000). De acuerdo con Da Silva y Dielh – Fleig, (1988), los hongos entomopatógenos de las especies *Metarhizium anisopliae* (Metsh) y *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill, han demostrado eficiencia y otras ventajas sobre los hormiguicidas químicos en el control de zompopos.

En el presente estudio se evaluó la efectividad de dos hongos entomopatógenos y el tratamiento químico común con Terminator® (organofosforado chlorpyrifos), con el objeto de encontrar la mejor alternativa para la reducción de ataques de *Atta* spp. hacia las plantaciones forestales energéticas cultivadas con eucalipto híbrido (*Eucaliptus urograndis*), que actualmente tiene bajo manejo la organización Pantaleón S.A.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. EL ZOMPOPO

2.1.1. Características morfológicas del zompopo

Las hormigas cortadoras o bachacos pertenecen al orden Hymenoptera y a la familia Formicidae. Los individuos que componen esta familia se caracterizan por tener un cuerpo quitinoso, de color marrón rojizo, con una cabeza grande, antenas geniculadas y un par de mandíbulas bien desarrolladas (Bertorelli y Luna, 2005).

Las hormigas corta hojas o zompopos (Genero: *Atta*; Familia: Formicidae; Tribu: Attini) son considerados uno de los insectos más destructores en los Neo trópicos (Farji and Sierra, 1993). Con algunas excepciones, todas las hormigas son originarias de las áreas en las que causan daños (Cherret, 1986).

En Nicaragua la experiencia indica grandes pérdidas en semillero y campo de especies de cultivos y forestales, por ataques de zompopos. Tan serio es el daño que su control debe de ser considerado como una actividad obligatoria, como cualquier aplicación agrícola rutinaria (Bauch, 1992).

2.1.2. Taxonomía del zompopo

Reino: Animalia

Clase: Insecta

Orden: Hymenoptera

Familia: Formicidae

Subfamilia: Myrmicinae.

Tribu: Attini.

Género: *Atta*

Especie: *Atta* spp

Nombres comunes: Hormigas corta-hojas, zompopo (Vaccaro y Mousques, 1997).



Figura 1. Zompopo.

2.1.3. Organización y distribución de actividades

Los zompopos viven organizados en sociedades, compuestas por castas o clases sociales. La función específica de cada casta según, (Fowler, Pagani, Da Silva, Forti, Pereira y Vasconcelos, 1989) se detalla a continuación:

La reina: es el individuo más grande y el único fértil de la colonia, puede ser fecundada por uno o más machos. Su tarea consiste en poner huevos fértiles o infértiles; estos últimos se utilizan para el alimento de las larvas, de las obreras y de la propia reina, desde el momento de la fundación de una nueva colonia hasta la emergencia de las primeras obreras forrajeras del nido. Las reinas vírgenes son reinas fecundadas que comúnmente se caracterizan por tener alas (Bertorelli y Luna, 2005).

La reina o hembra fértil, su función es exclusivamente reproductiva. La reina copula y pone los huevos. Los machos o zánganos son los que se encargan de copular y preñar a las hembras fértiles, después de esto mueren. Los soldados son los zompopos que se encargan de la seguridad de la zompopera y de cuidar el camino por el cual las obreras transportan el material. Son hembras estériles que se diferencian porque son de mayor tamaño que los demás, poseen una cabeza más pronunciada y mandíbulas fuertes (Fowler, et al. 1989).

Los machos son individuos sexualmente activos, que se caracterizan por poseer alas y tener la cabeza mucho más pequeña que las reinas y obreras. Su función es la de fecundar reinas vírgenes, por lo cual compiten y después mueren (Bertorelli y Luna, 2005).

Las obreras; son hembras estériles que pueden presentar diferentes tamaños (polimórficas), los cuales oscilan entre 1 milímetro y 2 centímetros de largo. Su tamaño puede estar influenciado por la tarea que realizan; las más pequeñas son cuidadoras de la prole, jardineras y ejecutoras de varias funciones o tareas (generalistas), mientras que las más grandes actúan como forrajeras, excavadoras y defensoras (Bertorelli; Luna. 2004).

Las obreras; éstas son estériles y no pueden reproducirse; sin embargo, son las que tienen la mayor carga de trabajo en el nido; según (Fowler, et al, 1989), se dividen a su vez en:

a) Cortadoras o acarreadoras: son de menor tamaño que los soldados y se encargan de cortar y llevar el material hasta el nido, además de elaborar las cámaras dentro de los nidos.

b) Jardineras o niñeras: son las más pequeñas, están encargadas de preparar la comida del hongo, cortando finamente el material llevado por las acarreadoras, cuidar huevos, gusanos y pupas, además de la limpieza del nido sacando la basura fuera del zompopero (en algunas especies).

2.1.4. Ciclo de vida del zompopo

Los bachacos, al igual que otros géneros de la familia Formicidae, presentan una metamorfosis completa con cuatro etapas fundamentales en su vida individual: huevo, larva, pupa y adulto. Las larvas se alimentan exclusivamente del hongo cultivado por sus hermanas obreras, y después que alcanzan su máximo desarrollo, comienzan su metamorfosis hasta llegar al estado de pupa, la cual al completar el proceso se convertirá en adulto (Bertorelli y Luna, 2005).

2.1.5. Formación de la colonia

La colonia comienza a formarse cuando las primeras obreras emergen de los huevos de la reina fundadora. Posteriormente las obreras buscan alimento para las larvas y la reina, y se dedican a la excavación de cámaras y galerías con la finalidad de lograr la ampliación de la colonia. Dependiendo de la especie, la fase de excavación y producción de obreras puede durar aproximadamente de tres a cuatro años (Bertorelli y Luna. 2005).

Cuando la colonia alcanza su madurez (existe suficiente número de obreras), la reina comienza a poner huevos, de los cuales emergen sexuales machos y hembras. Los sexuales machos tienen alas y son los únicos capaces de copular con la reina y

fecundarla para la producción de una nueva colonia. Ellos se van acumulando en cámaras específicas del nido hasta recibir una señal específica del medio ambiente, relacionada con variables meteorológicas, que los hacen salir del nido para realizar el vuelo nupcial. Luego del vuelo nupcial, las reinas fertilizadas cavan su nueva colonia mientras que las no fertilizadas mueren atacadas por las obreras (Bertorelli y Luna, 2005).

2.1.6. Alimentación

El principal daño lo producen al defoliar o cortar las hojas de las plantas, este daño no lo hacen con el fin de alimentarse de las hojas, sino para usarlas en sus nidos para cultivo de un hongo de la clase Basidiomycetes de la familia Lepiotaceae (Agaricales: Basidiomycota). Se ha comprobado que los hongos son el único alimento de las larvas y que apenas un 5% son consumidos por los adultos, quienes obtienen la mayor parte de sus nutrientes de la savia vegetal que emana cuando realizan los cortes. Esta relación entre hongos y hormigas es de tipo mutualista obligada, las hormigas proporcionan cuidado y dispersión del hongo y *Attamyces* sp. proporciona los nutrientes necesarios de las larvas (Luna, 2000). Las características indican que son basidiomycetos de la familia Lepiotaceae (Agaricales, Basidiomycota). Estos hongos han sido clasificados como *Rozites gongylophora*, pero se le han asignado también otros nombres, como *Leucocoprinus gongylophora* y *Agaricus gongylophora*. La taxonomía del hongo cultivado por las hormigas cortadoras de hojas es confusa, se ha propuesto usar *Attamyces* sp. (Ortiz y Orduz, 2001).

Los zompopos no se alimentan directamente del material vegetal, que introducen a sus nidos, su alimento es un hongo que crece sobre este material ya descompuesto con la ayuda de fluidos corporales del mismo insecto colocados sobre él. El hongo pertenece al género *Leucocoprinus*, *Lepiona* o *Rozites*, dependiendo de la especie de insecto (Vargas. 1997). El hongo es específico para el zompopo y han coevolucionado juntos, probablemente otros insectos puedan usar este hongo. Si el insecto depende de este hongo, se debe usar esto para su manejo. La saliva de obreras contiene enzimas y antibióticos para obtener buenas cosechas del hongo. El zompopo poda hifas del

hongo para obligarlo a producir estructuras globosas, que es lo que come (Palacios, Lopez, Medrano, 1997).

2.1.7. Comunicación entre zompopos

Los zompopos utilizan las antenas como medio de comunicación, éstas perciben olores y sabores, de esta manera pueden identificar a los miembros de su colonia o a extraños (Cherrett, 1986).

Los zompopos pueden regresar a su colonia por el rastro oloroso (consiste en pequeñísimas gotas de líquido), que se desprende del extremo del abdomen del insecto cuando camina; cada colonia tiene un olor distinto con el que marcan su territorio de trabajo defendiéndolo de invasiones de otras colonias (Cherrett, 1986).

2.1.8. Comportamiento del zompopo

Estos insectos revisan constantemente sus jardines o huertos de hongos y no aceptan otras variedades diferentes del que cultivan. Por tal razón, en las secreciones salivares y anales de los zompopos se encuentran algunas sustancias que cuando son aplicadas al cultivo de hongos lo identifican y lo mantienen sano (Martín et al. 1969; citado por Parvel, 2012).

En general las zompoperas se inician con la época lluviosa, en este momento las hembras y machos fértiles llamados “zompopos de mayo” salen en vuelo nupcial, el cual sólo ocurre una vez al año. En el vuelo las reinas son fecundadas por los machos más fuertes. Los machos después de copular mueren, mientras que las hembras fertilizadas se entierran en el suelo más o menos a medio metro de profundidad, para dar lugar a las nuevas colonias (Fowler et al, 1989).

2.2. GENERALIDADES DE LOS HONGOS ENTOMOPATÓGENOS

Según Cañedo y Ames (2004), uno de los factores que limita la producción de los cultivos son las plagas agrícolas. El uso indiscriminado de insecticidas orgánicos

sintéticos ha traído como consecuencia la selección de individuos resistentes, la resurgencia de nuevas plagas y la contaminación ambiental y del hombre.

Estos factores han hecho posible el surgimiento de sistemas nuevos de producción agrícola, como la producción orgánica; han creado la necesidad de obtener productos inofensivos para otros organismos no perjudiciales (entomófagos) y han obligado a legislar más estrictamente sobre la presencia de residuos en los productos agropecuarios (Cañedo y Ames, 2004).

El manejo integrado de plagas (MIP), que se basa en principios totalmente ecológicos, considera todo el agro ecosistema en su conjunto. Como tal, comprende la aplicación armónica de diferentes métodos de control, como la lucha biológica y las prácticas culturales que requiere el cultivo, teniendo en cuenta los niveles poblacionales de las plagas y enfermedades a controlar, la presencia de los bio reguladores naturales, las etapas fenológicas del cultivo y las condiciones ambientales presentes (Cañedo y Ames, 2004).

Uno de los componentes del MIP es el control biológico de las plagas agrícolas mediante parasitoides, predadores (entomófagos) y organismos entomopatógenos que pueden ser hongos, bacterias, virus, nematodos y protozoarios. Los hongos entomopatógenos son los que han recibido mayor atención por la gran variedad de especies y amplio rango de hospedantes, así como por su crecimiento microscópico sobre la superficie de su huésped. Todos los insectos son susceptibles de ser afectados por algún hongo (Cañedo y Ames, 2004).

Ciertos hongos poseen características muy especiales que les permiten sobrevivir en forma parasítica sobre los insectos y en forma saprófita sobre material vegetal en descomposición. El crecimiento saprófito puede dar como resultado la producción de conidióforos, conidias y desarrollo miceliano. Esta característica permite que el hongo pueda ser cultivado en el laboratorio utilizando técnicas de producción en masa de bajo costo (Cañedo y Ames, 2004).

Los hongos tienen un gran potencial para ser empleados como bio controladores. Entre los principales hongos que presentan estas características están: *Beauveria*, *Metarhizium* y *Paecilomyces* (Cañedo y Ames, 2004).

2.2.1. Principales ventajas (Cañedo y Ames, 2004):

- Presentan grados variables de especificidad, pueden ser específicos a nivel de familia o especies muy relacionadas. En el caso de las cepas pueden ser específicas a nivel de especie, sin afectar a los enemigos naturales.
- Si el entomopatógeno encuentra las condiciones adecuadas para introducirse y colonizar un ecosistema, se reproduce y renueva en forma continua, es decir, se vuelve persistente, haciendo innecesarias nuevas aplicaciones.
- Se pueden aplicar mezclas de hongos entomopatógenos con dosis sub letales de insecticidas para lograr efectos sinérgicos superiores a los logrados con aplicaciones de cada producto por separado.
- No contaminan el medio ambiente ni afectan al hombre u otros animales superiores.
- Cuando el hongo no llega a causar la muerte directamente, se presentan efectos secundarios que alteran el normal desarrollo del ciclo de vida del insecto.

2.2.2. Principales desventajas (Cañedo y Ames, 2004):

- Sensibilidad a la variación de las condiciones climáticas como temperaturas extremas, desecación y luz ultravioleta. Estas limitantes están siendo contrarrestadas mediante el uso de aditivos (protectores solares, aceites, anti desecantes).
- Requieren de condiciones de almacenamiento más exigentes que las moléculas inorgánicas, para evitar que pierdan su patogenicidad.
- En general los insecticidas biológicos no matan instantáneamente.
- Alcanzan buenos niveles de control entre una y tres semanas después de la aplicación, dependiendo de la plaga y del ambiente. Sin embargo, el insecto deja

de ser plaga al ser parasitado por el hongo, deja de alimentarse mucho antes de morir, disminuyendo el daño.

2.2.3. Mecanismo de infección de los hongos entomopatógenos

La enfermedad producida por hongos se llama micosis. Tanada y Kaya (1993) mencionan que el desarrollo de la micosis puede ser separado en tres fases:

a). Adhesión y germinación de la espora en la cutícula del insecto

El proceso de adhesión, dependiendo del hongo, puede ser un fenómeno específico o no específico. Mientras que la germinación de las esporas es un proceso mediante el cual una espora emite uno o varios pequeños tubos germinativos que al crecer y alargarse da origen a las hifas, este proceso depende de las condiciones de humedad y temperatura ambiental. En menor grado la luz condiciona el ambiente alimenticio. La espora que germina en el insecto forma un tubo germinativo, el cual funciona como una hifa de penetración de la cutícula (Samson, Evans and Latgé, 1988).

También puede producir una estructura llamada apresorio, la cual ayuda a la adhesión de la espora. El éxito de la germinación y penetración no dependen necesariamente del porcentaje de germinación sino del tiempo de duración de la germinación, modo de germinación, agresividad del hongo, tipo de espora y susceptibilidad del hospedante. (Samson, et al, 1988).

b). Penetración dentro del hemocele

Depende de las propiedades de la cutícula, grosor, esclerotización, presencia de sustancias nutricionales y antifungosas y estado de desarrollo del insecto. La digestión del integumento se produce mediante las enzimas (proteasas, aminopeptidasas, lipasas, esterases y quitinasas). Cuando la hifa ha llegado al hemocele, se pueden producir diferentes reacciones de defensa del insecto frente a un cuerpo extraño: la fagocitosis, encapsulación celular y la formación de compuestos antimicrobianos como las lisozimas, aglutininas y melanización. En este caso, el hongo debe vencer el

sistema inmunológico del hospedante antes de entrar a la hemolinfa y desarrollarse dentro del insecto (Charnley, 1984).

c). Desarrollo del hongo que resulta en la muerte del insecto

Luego de que llegue al hemocele, el hongo puede evitar la defensa inmune del insecto produciendo células parecidas a levaduras, llamadas blastosporas, que se multiplican y dispersan rápidamente, desarrollando protoplastos, elementos discretos ameboideos, sin pared celular que no son reconocidos por los hemocitos del hospedante (Pérez, 2000) y produciendo micotoxinas (Tanada y Kaya, 1993).

A continuación del crecimiento del hongo en el hemocele, se producen los síntomas fisiológicos del insecto afectado como convulsiones, carencia de coordinación y comportamientos alterados (deja de alimentarse, reduce su movimiento), entra en un estado letárgico y finalmente muere, lo que puede ocurrir relativamente rápido o en unos cuantos días. Ocurre una competencia entre el hongo y la flora intestinal. Los hongos pueden producir sustancias antibacterianas que alteran la coloración del cadáver (Ferrón, 1978).

2.3. *Metarhizium anisopliae*

2.3.1. Clasificación taxonómica (Driver; Milner; Trueman, 2000).

Reino: Fungi

Filo: Ascomycota

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Clavicipitaceae

Género: *Metarhizium*

Especie: *Metarhizium anisopliae*

Nombre binomial: *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin.

2.3.2. Descripción

El *Metarhizium anisopliae* es un hongo imperfecto, que tiene un amplio rango de insectos huéspedes (más de 200 especies, primeramente larvas de coleópteros) en la naturaleza, y que ha sido recientemente aislado de larvas salvajes colectadas de *Culex* (Ross y Smith, 1976).

El hongo tiene un amplio rango de mosquitos huéspedes y sus conidios pueden producir altas tasas de mortalidad en larvas de *Culex* y *anofelinos*, en dosis de 300-600 mg/m². El principal modo de acción en la mayoría de los casos es la obstrucción del pasaje de aire a través de los dos conductos traqueales de las larvas de mosquitos. Aunque la *M. anisopliae* es una especie cosmopolita, no se han reportado en infecciones en animales de sangre caliente, y no hay reportes sobre susceptibilidad humana al hongo (Ross y Smith, 1976).

Los conidios de *Metarhizium anisopliae* pueden ser producidos en masa sobre un sustrato de arroz, en cantidades suficientes para aplicaciones locales de campo. Las grandes cantidades de sustrato que son necesarias para producir conidios para tasas efectivas de aplicación de campo, requieren el desarrollo de métodos específicos de producción en masa para hacer práctico el uso de este agente fungoso en un futuro inmediato; también requiere el uso de aislados altamente virulentos. Continúa la investigación del potencial de este hongo para el control de vectores terrestres tales como el *Rhodnius prolixus* (Ross y Smith, 1976), que transmite el mal de chagas (erradicado actualmente en Guatemala).

2.4. *Beauveria bassiana*

2.4.1. Clasificación taxonómica (Bischoff, Domrachev, Federhen, Hotton, Leipe, Soussov, Sternberg y Turner (2006))

Reino: Fungi
Filum: Ascomycota
Subfilum: Pezizomycota

Clase: Sordariomycetes
Sub clase: Hypocreomycetidae
Orden: Hypocreales
Familia: Clavicipitacea
Género: *Beauveria*
Especie: *B. bassiana*

2.4.2. Descripción

Beauveria bassiana ha sido estudiada durante más de 100 años y no se conoce de ningún efecto tóxico sobre animales domésticos ni silvestres, aves y peces, con la excepción de su acción patogénica contra los insectos. Estudios realizados de inocuidad de este entomopatógeno sobre conejos y ratones fueron: irritación ocular y dermal, toxicidad aguda y dermal; toxicidad por inhalación y sensibilización. Su impacto contribuye a la disminución de las plagas. El entorno no se ve afectado debido a que no daña el medio ambiente. No es tóxico para los animales de sangre caliente. Puede cosecharse los productos agrícolas inmediatamente después de aplicado el medio biológico (Pérez, 2000).

2.5. TERMINATOR® 1.5 DP

Controla plagas del follaje y suelo en diferentes cultivos, modo de acción por contacto, ingestión e inhalación, controla minadores, chinches, pulgones, escamas, cochinillas, gusanos, broca, barrenadores, salivazos, plagas del suelo, gallina ciega, nocheros, cortadores, trozadores, hormigas, zompopos, pulgas.

Ingrediente Activo: Chlorpyryfos.

Dosis: polvo para espolvorear.

2.6. *Eucalyptus urograndis*

Es un híbrido entre *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis*, que fue desarrollado en Brasil, para la producción de celulosa para papel, dado a sus características de alto rendimiento, adaptabilidad, resistencia a plagas y enfermedades, también es utilizado para la producción de energía, (R. Mejia, 2010).

El ciclo de producción con fines energéticos en el *Eucalyptus urograndis*, es de 5 años, se debe propiciar una sobrevivencia mayor al 95% desde su establecimiento para mantener una adecuada uniformidad en la plantación y con ello reducir costos de manejo, generar competencia entre plantas y aprovechamiento de terreno, (R, Mejia, 2010).

2.7. ANTECEDENTES

Los programas de control microbiológico están basados en la búsqueda de cepas de microorganismos capaces de infectar y causar mortalidad en corto tiempo a un grupo específico de insectos (López y Orduz, 2002).

En Brasil estudios realizados en condiciones de laboratorio con *B. bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, constataron patogenicidad y un rápido crecimiento y esporulación de estos hongos sobre los insectos muertos de *Atta sexdens piriventris* (Da Silva y Diehl, 1988).

En Cuba se trabaja desde hace más de 3 años con las cepas existentes en la micoteca del Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), y se han logrado resultados satisfactorios con la cepa MB-1 del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, alcanzado efectividades biológicas sobre *Atta insularis* superiores al 90%, a partir de las 72 horas, a la concentración de 2.5×10^9 y el mayor porcentaje de insectos enfermos en laboratorio (Pérez, 2000).

En Cuba los resultados obtenidos indican la efectividad de las aplicaciones del entomopatógeno *B. bassiana* (cepa MB-1) para el combate de *A. insularis*, durante el desarrollo del estudio se pudo demostrar que para las condiciones de Cuba y sobre *A.*

insularis, basta realizar dos tratamientos con el bio preparado a base de *B. bassiana* con intervalo de 15 días para lograr la disminución brusca de las poblaciones y en ocasiones desaparece totalmente la actividad (Pérez, 2000).

Otros productos controladores de zompopos son los insecticidas en polvo, muchos ya prohibidos pues representan un riesgo ambiental por su persistencia y tienen impactos en la salud humana (Vargas, 1997).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los zompopos son los principales responsables de la mortalidad de plantas durante los primeros tres meses de establecimiento del cultivo de eucalipto, llegando a reducir hasta un 50 % de la población de plántulas 30 DDS (días después de siembra), debido a la defoliación de las mismas (Mejía, 2010).

Adicionalmente, la organización Pantaleón S.A. en busca del mejoramiento y mantenimiento de sus estándares de calidad, pretende la no utilización y/o reducción de uso de productos que sean contaminantes al ambiente, entre ellos están los productos organofosforados. Comúnmente para el combate de los zompopos la organización utiliza un producto químico, de nombre comercial Terminator® (Chlorpyrifos), que pertenece a la familia de los organofosforados, componente que se encuentra en el listado de productos moderadamente peligrosos (Clase II), por la Organización Mundial de la Salud, razón por la cual existe el interés de encontrar una o más alternativas viables que permitan tener un control eficiente sobre los zompopos y que a la vez este control sea amigable con el ambiente.

IV. OBJETIVOS

4.1. GENERAL

Contribuir al control de zompopos (*Atta spp.*) en plantaciones energéticas de eucalipto (*Eucaliptus urograndis*), mediante el uso de hongos entomopatógenos.

4.2. ESPECÍFICOS

Evaluar la eficacia del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* en el control de *Atta spp.*

Evaluar la eficacia del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* en el control de *Atta spp.*

Evaluar la eficacia del insecticida Chlorpyrifos en el control de *Atta spp.*

Establecer los costos de los tratamientos a evaluar.

V. HIPÓTESIS

El tratamiento con *Metarhizium anisopliae* a evaluar será efectivo en el control de *Atta* spp. en plantaciones energéticas de eucaliptos.

El tratamiento con *Beauveria bassiana* a evaluar será efectivo en el control de *Atta* spp. en plantaciones energéticas de eucaliptos.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. LOCALIZACIÓN

El ensayo se realizó en campo, con troneras activas de *Atta* spp, en unidades de manejo de eucalipto en la finca Las Delicias Baúl, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Esta se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas: longitud oeste 90° 59' 59.6" y latitud norte 14° 26' 29" , altura promedio de 700 msnm, temperatura promedio anual de 25 °C, precipitación promedio anual de 4200 mm y una humedad relativa promedio de 80 %, condiciones adecuadas para el desarrollo de la evaluación (Mejía, 2010).

6.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

Cepa del hongo *Metarhizium anisopliae*.

Para nidos grandes se aplicaron dos dosis, con siete días de diferencia (cada dosis de 0.2 litros de producto/20 litros de mezcla/nido). Concentración: 2.5×10^{12} UFC/litro de producto). Para nidos pequeños se utilizó la mitad de la dosis (Gómez P. Comunicación personal, Junio 2010).

Cepa del hongo *Beauveria bassiana*.

Para nidos grandes se aplicaron dos dosis, la segunda siete días después de la primer aplicación (cada dosis de 0.2 litros de producto/20 litros de mezcla/nido). Concentración: 2.5×10^{12} UFC/litro de producto). Para nidos pequeños se utilizó la mitad de la dosis (Gómez, P. Comunicación personal, julio 2010).

Insecticida organofosforado Chlorpyrifos (Terminator®), dosis: 20 g/nido, para nidos grandes y 10 g/nido para nidos pequeños (Mejía, 2010).

6.3. FACTORES ESTUDIADOS

Se estudió un solo factor, consistente en un tratamiento para el control de *Atta* spp.

6.4. DESCRIPCION DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados se describen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos

Tratamiento	Descripción	Dosis (troneras grandes)	Dosis (troneras pequeñas)
1	Testigo	Sin producto para el control	Sin producto para el control
2	Terminator® (Chlorpyryfos)	20 gramos/nido	10 gramos/nido
3	<i>Metarhizium anisopliae</i>	0.40 L producto/40 L agua/nido)	0.20 L producto/20 L agua/nido)
4	<i>Beauveria bassiana</i>	0.40 L producto/40 L agua/nido)	0.20 L producto/20 L agua/nido)

6.5. UNIDAD EXPERIMENTAL

Se ubicaron zompoperos o troneras con las mismas características, tales como: la vegetación que las rodea, el tamaño de la tronera y la cantidad de salidas activas. Se seleccionaron áreas en la finca Las Delicias, para ubicar ahí dos sitios, y en cada uno de ellos ocho troneras o unidades experimentales, en total fueron ubicadas 16 troneras que representan las 16 unidades experimentales.

Cada tronera activa fue definida como una unidad experimental.

Se midió el perímetro de las troneras y de acuerdo a ello se clasificaron en categorías: grandes (≥ 5.01 metros cuadrados) y pequeñas (≤ 5 metros cuadrados). De acuerdo a esta categorización se aplicaron los productos en iguales cantidades según las recomendaciones de ensayos anteriores realizados en el laboratorio de parasitoides de Pantaleón S.A. (Gómez, P. Comunicación personal, junio 2010).

Para la aplicación del producto químico se utilizó la dosis que utiliza el departamento forestal de Pantaleón S.A. para el control del zompopo.

La clasificación de las troneras se describen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de troneras de acuerdo su tamaño

Sitio	Tronera	Clasificación	Área (m2)
1	1.00	Grande	8.19
	2.00	Pequeña	4.76
	3.00	Pequeña	3.60
	4.00	Pequeña	2.88
	5.00	Grande	9.28
	6.00	Pequeña	3.12
	7.00	Grande	9.02
	8.00	Grande	9.92
2	9.00	Pequeña	4.32
	10.00	Pequeña	3.50
	11.00	Pequeña	2.04
	12.00	Grande	10.15
	13.00	Grande	6.44
	14.00	Pequeña	4.60
	15.00	Grande	6.50
	16.00	Grande	8.40

6.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con mediciones repetidas; con 4 tratamientos, 4 repeticiones y 14 mediciones para cada unidad experimental.

El diseño de medidas repetidas es una extensión del diseño de bloques, en que el sujeto sustituye al bloque y actúa de control propio. Con este formato los sujetos de la muestra reciben todos los tratamientos y repiten medidas o registros de respuesta; asimismo, la comparación de los tratamientos es intra-sujeto.

6.7. MODELO ESTADISTICO

$$Y_{ij} = \mu + \eta_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Variable respuesta.

μ = Media general.

$\eta_i = \mu_i - \mu$ = efecto asociado al i ésimo sujeto

$\alpha_j = \mu_j - \mu$ = efecto del j -ésimo nivel de la variable de los tratamientos

ε_{ij} = el error experimental asociado al i sujeto bajo el j tratamiento

6.8. CROQUIS DE CAMPO

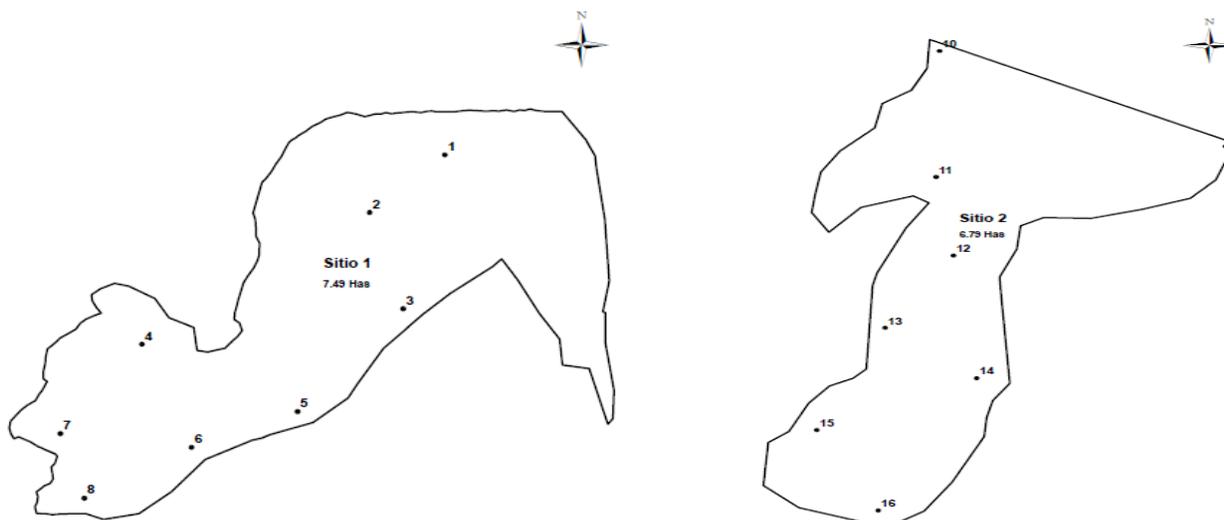


Figura 2. Sitios 1 y 2, Finca Las Delicias Baúl, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

Cuadro 3. Esquema de tratamientos/tronera/sitio/

Sitio	Repetición	Tronera	Tratamiento	Descripción
1	I	1	4	<i>Beauveria bassiana</i>
		5	2	Terminator®
		7	3	<i>Metarhizium anisopliae</i>
		8	1	Testigo
	II	2	2	Terminator®
		3	4	<i>Beauveria bassiana</i>
		4	3	<i>Metarhizium anisopliae</i>
		6	1	Testigo
2	III	9	1	Testigo
		10	2	Terminator®
		11	4	<i>Beauveria bassiana</i>
		14	3	<i>Metarhizium anisopliae</i>
	IV	12	1	Testigo
		13	2	Terminator®
		15	3	<i>Metarhizium anisopliae</i>
		16	4	<i>Beauveria bassiana</i>

6.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO

Se ubicó cada tronera o nido, se midió el perímetro que abarcaba cada una de ellas para definir su categoría. Se marcaron y enumeraron las troneras y en cada una de ellas se aplicó el producto de acuerdo a su categoría.

Se realizó un conteo de la población de obreras activas previo a la evaluación y durante la evaluación, para tener parámetros comparativos entre los tratamientos y principalmente con el testigo absoluto. Todos los conteos se realizaron de las 19:30 horas en adelante, ya que es cuando los individuos presentan mayor actividad (Cedeño-León, sf). El tiempo de toma de datos fue de 30 días, dos días para la determinación de los promedios de la población y a partir del día tres se tomaron 14 lecturas a cada dos días (Cuadro 4).

Aplicación de hongos: se utilizaron baldes y agua para diluir la mezcla, así como probetas para su medición exacta. Los tratamientos de hongos fueron aplicados con una bomba de aspersion manual y el suministro de agua fue a través de un tanque de 700 litros de capacidad, acoplado a un tractor. Se realizó la primera aplicación el día 1, y 7 días después se realizó la segunda aplicación de la dosis, según recomendación del laboratorio de parasitoides de Pantaleón S. A.

Para la aplicación del producto químico, previo a su aplicación se llevaron preparadas las dosis a aplicar con el peso exacto. Para su aplicación se utilizó una bomba insufladora marca “Guaraní”.

6.10. VARIABLES RESPUESTA

6.10.1. Porcentaje de mortalidad de *Atta* spp.

Se midió el porcentaje de mortalidad provocado por cada tratamiento, se consideró el estudio realizado por Da Silva y Diehl - Fleig (1988), en donde se determinó la población activa de obreras, a través de un flujo promedio de hormigas/nido/minuto en cada medición.

6.10.2. Eficacia del control

Con base en los porcentajes de eficacia del control de *Atta* spp. con el uso de dos hongos entomopatógenos y el porcentaje de eficacia del control químico, se determinó cuál de ellos fue más eficaz en porcentaje de control.

6.10.3. Costos

Se llevaron registros de los costos de los insumos y su aplicación en cada uno de los tratamientos (Quetzales).

6.11. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1. Análisis estadístico

Para el cumplimiento de los supuestos de la ANDEVA, de normalidad de datos brutos e igualdad de varianza entre los tratamientos, se transformaron los datos por medio de la fórmula del Arcoseno ($X/2$), los mismos fueron analizados a través de la prueba de normalidad de Shapiro Wilks en donde se determinó su cumplimiento en relación a la normalidad de los datos (ver Anexo 1). También se realizó la prueba de Barlett's sobre igualdad de varianzas en donde se determinó de que no existen diferencias entre las varianzas (ver Anexo 2). Por lo anteriormente expuesto, para el presente análisis se utilizaron los datos originales en porcentaje.

Los valores del flujo de hormigas obreras (hormigas/salida/activa/minuto) obtenidas en la toma de datos fueron sometidos a análisis de varianza y se les realizó una prueba múltiple de medias de Tukey, con una significancia de 0.01, con el programa STATISTIX 8.

6.11.2. Análisis de costos

Se elaboró un cuadro de costos por tratamiento, en donde se pudo comparar entre cada uno de ellos.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la evaluación efectuada en campo para conocer cuál fue el comportamiento de los diferentes tratamientos, se obtuvieron los siguientes resultados para cada variable respuesta evaluada.

7.1 PORCENTAJE DE MORTALIDAD

Para un adecuado análisis, los datos de flujos de hormigas se transformaron a porcentajes. Se consideró el primer día como el 100 % de la población y a la medida de la realización de los muestreos se fueron obteniendo los datos de incrementos/decrementos en porcentaje, al cual se le denominó % de infestación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comportamiento en porcentaje promedio de los tratamientos, durante los muestreos.

Muestreo	Testigo (T1)	Terminator® (T2)	<i>Metarhizium anisopliae</i> (T3)	<i>Beauveria bassiana</i> (T4)
1	100.00	100.00	100.00	100.00
2	104.54	50.87	104.45	95.93
3	108.57	29.17	103.63	84.09
4	115.55	19.21	94.38	73.62
5	116.60	15.76	81.83	64.28
6	119.41	22.15	84.65	56.02
7	120.38	34.24	77.04	44.86
8	129.26	44.07	67.43	33.57
9	131.35	50.86	61.65	28.41
10	138.96	61.00	55.46	22.61
11	140.61	70.12	48.64	17.18
12	147.91	72.32	44.71	10.27
13	151.74	77.18	38.61	6.29
14	152.42	80.35	33.08	3.42
Promedio	126.95	51.95	71.11	45.75

En el cuadro 4 se observa la dinámica del comportamiento de la infestación de acuerdo a cada tratamiento. En el caso del T1 presenta un porcentaje de infestación en incremento de acuerdo a su comportamiento natural de aumentar la población de zompos; para el tratamiento T2 se observa una reducción significativa de la

población durante los primeros muestreos; sin embargo, se observa una recuperación en el transcurso de los días.

Para el caso del tratamiento T3 se observa una reducción a partir del tercer muestreo y con una tendencia sostenida a la baja, y para el caso del tratamiento T4, presenta una reducción sostenida desde el primer muestreo, llegó a niveles más bajos que los otros tratamientos.

7.2 ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA MÚLTIPLE DE MEDIAS

En el cuadro 5 se presenta el resultado del análisis de varianza para los porcentajes de infestación observados en cada tratamiento.

Cuadro 5. Análisis de varianza para los porcentajes de infestación de los tratamientos.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamiento (A)	3	229383	76461.1	573.76	0.0000 **
Error Tratamiento X Sitio (AXB)	4	533	133.3		
Muestreo (C)	13	19553	1504.1	46.5	0.0000**
Tratamiento X Muestreo (AXC)	39	121265	3109.3	96.12	0.0000**
Error Tratamiento X Sitio X Muestreo (AXBXC)	52	1682	32.3		
Error	112	14067	125.6		
Total	223	386483			
Media general	73.941				

** Diferencias altamente significativas

CV Tratamiento X Sitio	15.61
CV Tratamiento X Sitio X Muestreo	7.69
CV (error)	15.16

De acuerdo al Andeva, existieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos, por lo que se realizó la prueba múltiple de medias de Tukey, para determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos. El coeficiente de variación de 15.16% indica que fue bien conducido.

Cuadro 6. Prueba múltiple de medias de Tukey ($p= 0.01$)

Tratamiento	Media	Grupo
1	126.95%	A
3	71.11%	B
2	51.95%	C
4	45.75%	C

Valor comparativo de medias $Q = 9.196$.

La prueba de Tukey ($p=0.01$) indica que se formaron tres grupos, de los cuales el T1 (testigo) que pertenece al grupo A contiene el mayor porcentaje de infestación con 126.95%, con lo que se puede inferir que la población de zompopos aumentó.

En el grupo B se encuentran el tratamiento 3, que corresponde al uso del hongo *Metarhizium anisopliae* que contiene 71.11% de infestación promedio durante las cuatro semanas que duró la prueba. Los mejores tratamientos son los que pertenecen al grupo C, T2, insecticida Terminator® y T4 (*Beauveria bassiana*), con un promedio de infestación de 51.95 % y 45.75% respectivamente.

7.3. COSTOS

En los cuadros 7, 8 y 9, se presenta un resumen de los costos en los que se incurrió en cada tratamiento:

Cuadro 7. Costos de aplicación del control químico Terminator®.

Recursos	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario (Q)	Valor Total (Q)
Aplicación	Aplicación	Jornal	1.00	78.72	78.72
Insumos	Terminator®	Kg	0.06	11.00	0.66
Equipo	Bomba insufladora	Unidad	1.00	55.00	55.00
Total					134.38
Costo por tronera					33.60

Para el caso de la prueba, se adquirió una bomba insufladora; sin embargo esta puede continuar utilizándose de acuerdo a la vida útil del equipo, diluyendo el costo de la misma a través del tiempo. Si consideramos una vida útil promedio del equipo de 2

años, el valor del uso del equipo durante los 30 días equivale a Q 2.29 y el costo total por tronera sería de Q 20.42.

Cuadro 8. Costos de aplicación de *Metarhizium anisopliae*.

Recursos	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario (Q)	Valor total (Q)
Aplicación	Primer aplicación	Jornal	2.00	78.72	157.44
	Segunda aplicación	Jornal	2.00	78.72	157.44
Insumos	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Dosis	1.20	9.64	11.57
Equipo	Bomba de aspersión de 20 L.	Unidad	1.00	800.00	800.00
Maquinaria	Tractor + cisterna	Hora	1.50	138.42	207.63
Total					1,334.08
Costo por tronera					333.52

Para el caso de la prueba, se adquirió una bomba de mochila; sin embargo, ésta puede continuar utilizándose de acuerdo a la vida útil del equipo, diluyendo el costo de la misma a través del tiempo. Si consideramos una vida útil del equipo de cinco años, el valor del uso del equipo durante los 30 días equivale a Q 13.33 y el costo total por tronera sería de Q 136.77.

Cuadro 9. Costo de aplicación de *Beauveria bassiana*.

Recursos	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Aplicación	Primer aplicación	Jornal	2.00	Q 78.72	Q 157.44
	Segunda aplicación	Jornal	2.00	Q 78.72	Q 157.44
Insumos	<i>Beauveria bassiana</i>	Dosis	1.20	Q 6.43	Q 7.72
Equipo	Bomba de aspersión de 20 L	Unidad	1.00	Q 800.00	Q 800.00
Maquinaria	Tractor + cisterna	Hora	1.50	Q 138.42	Q 207.63
Total					Q 1,330.23
Costo por tronera					Q 332.56

Para el caso de la prueba, se adquirió una bomba de mochila, sin embargo esta puede continuar utilizándose de acuerdo a la vida útil del equipo, diluyendo el costo de la misma a través del tiempo. Si consideramos una vida útil del equipo de cinco años, el valor del uso del equipo durante los 30 días equivale a Q 13.33 y el costo total por tronera sería de Q 135.89.

El costo por tronera más bajo corresponde al realizado con el producto químico Terminator®, el costo del equipo para aplicación, el bajo costo del producto y la facilidad de movilización para la aplicación del mismo permite mantener el costo relativamente bajo. El segundo producto que presentó menor costo fue el de *Beauveria bassiana*, el mayor costo está representado por el equipo con el que se aplica, adicionalmente se requiere de maquinaria para el traslado de agua en suficientes cantidades, la diferencia en costo comparado con el producto químico es aproximadamente 10 veces superior.

Finalmente, el tercer costo más bajo corresponde al producto *Metarhizium anisopliae*, 0.96 centavos más caro que la aplicación con *Beauveria bassiana*, éste último producto utiliza para su aplicación los mismos recursos que la aplicación con *Beauveria bassiana* y su costo difiere básicamente en la materia prima que se utiliza para su reproducción en laboratorio.

El tratamiento en donde no se generó ningún costo, fue el testigo, ya que el mismo no demandó la utilización de ningún tipo de recurso.

VIII. CONCLUSIONES

La evaluación de los hongos entomopatógenos, demostró que estos sí pueden contribuir al control de los mismos en plantaciones forestales energéticas de *Eucalyptus urograndis*.

La eficacia del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae*, fue del 33 % de reducción de la población de zompopo, 30 días después de su aplicación.

La eficacia del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, fue de 3.42% de reducción de la población de zompopo, 30 días después de su aplicación.

La eficacia del producto químico Terminator[®], fue de 80% de reducción de la población de zompopo a los 30 días después de su aplicación.

El costo de aplicación para la realización de las pruebas es el siguiente: Terminator[®] (Q 33.60), *Beauveria bassiana* (Q 332.56) y *Metarhizium anisopliae* fue de Q 333.52.

Si se consideran los valores de depreciación, de los equipos adquiridos, a través de los 30 días de tiempo de utilización, los costos de las diferentes aplicaciones serian de la siguiente manera: Terminator[®] Q 20.42, *Metarhizium anisopliae* Q 136.77 *Beauveria bassiana* Q 135.89.

En general es viable la aplicación de hongos entomopatógenos, los mejores resultados se generan con la utilización de *Beauveria bassiana*, este tipo de control biológico tiene la ventaja de mantener un control más prolongado y menos dañino al medio ambiente; sin embargo, el costo de su utilización es alto comparado con el control químico.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer las aplicaciones con hongos entomopatógenos, antes del establecimiento de las siembras, con el objetivo de que las poblaciones de zompopo estén en su punto más bajo de infestación, para reducir la posibilidad de daño sobre las plantas.

Recientemente se han desarrollado productos comerciales con *Beauveria bassiana* en presentaciones que proveen mayor versatilidad en su aplicación y menor costo, se recomienda realizar las pruebas con estos productos, siendo uno de ellos, el producto denominado comercialmente como Botanigard.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Banderas A. (2004). Control de *Atta colombica* con los hongos *Trichoderma harzianum*, *Beauveria bassiana* y el insecticida Malation. Zamorano 22 p.
- Bauch, R. (1992). Zompopos. Características y métodos de combate. Managua, s.n. 12 p.
- Bertorelli M. y Luna C. J. (2005). Los bachacos y su importancia en las sabanas orientales. INÍA Divulga 4 enero – abril 2005 p. 46-49.
- Bischoff, J.; Domrachev, M.; Federhen, S.; Hotton, C.; Leipe, D.; Soussov, V.; Sternberg, R & Turner, S. (2006). National Center for Biotechnology Information (NCBI). (En línea): <<http://ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>>
- Cañedo, V y Ames T. (2004). Manual de Laboratorio para el Manejo de Hongos Entomopatógenos. Lima, Perú; Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú, 62 p.
- Cedeño-León, A. (s.f.) Los Bochados: aspectos de su ecología. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana. 71 p.
- Charnley, A. (1984). Physiological aspects of destructive patogenesis in insects by fungi: A speculative review. In: Invertebrate-microbial interactions. Anderson, J., A. Rayner and D. Walton. Cambridge University Press. Cambridge. Pp 229-270.
- Cherret, J. (1986). The control of injurious animals. London. 210 p.
- Da Silva, M. and Diehl-Fleig, E. (1988). Avaliacao de diferentes linhagens de fungos entomopatogenicos para el control da formiga *Atta sexdens piriventris* (Hymenoptera: Formicidae). An. Soc. Entomol. Brasil. 17:263-269.
- Driver F. R. J.; Milner, W. H.; Trueman. (2000). A Taxonomic Revision of *Metarhizium* based on sequence analysis of Ribosomal. Mycological Research. DNA 104=135-151.
- Farji, B.; Sierra, C. (1993). Distribution of attacked plants along trails in leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae): consequences in territorial strategies. Ecología Austral. 2: p. 87-94.
- Ferron, P. (1978). Biological control of insect pest by entomopathogenous fungi. In: Annual review of entomology. 23:409-442.
- Ficha técnica de Terminator. Disponible en:<http://promoagro.net/agroquimicos-y-fertilizantes-organicos/producto/terminator-1-5-dp/>

Fowler H. G. , Pagani M. I., Da Silva O. A., Forti L. C., Pereira Da Silva V., De Vasconcelo H. L., (1989). A pest is a Pest? The Dilema of Neotropical Leaf Cutting Ants: Keystone Taxa of Natural Ecosystems. *Environmental Management* v. 13 n 6, p. 671-675.

Gómez, P. (2010). Laboratorio de Parasitoides. Pantaleón S. A. Entrevista Personal

Jaccoud, D.B. (2000). Formigas cortadeiras: princípios de manejo integrado de áreas infestadas. Brasília: IBAMA, 60p. (Série Meio Ambiente em debate, 34).

Lemus, Y. A.; Rodríguez, G. M.; Cuervo, R. A.; Duran Venegas, J. A.; Zulaga, C. L.; Rodríguez, G. (2008). Determinación de la factibilidad del hongo *Metarhizium anisopliae* para ser usado como control biológico de la hormiga arriera (*Atta cephalotes*). *Revista científica Guillermo de Ockham*, Vol 6, Num. 1, enero-junio, pp. 91-98. Cali Colombia.

López, E. y Orduz, S. (2002). *Metarhizium anisopliae* and *Trichoderma viride* controlan efectivamente la hormiga cortadora de hojas *Atta cephalotes*. Unidad de Biotecnología y Control Biológico, Corporación para Investigaciones Biológicas. CIB. Medellín, Colombia. 22p.

Luna, J., (2000). Las hormigas arrieras *Atta* spp. (Himenóptera: Formicidae) de México. *Revista Dugesiana (México)*. 3 (1): 21-31.

Mejia, R. (2010). Informe de control de zompopo. Plantaciones Energéticas. Finca Las Delicias Baul. Pantaleón S. A. R004, p 1-6.

Ortiz, A; Orduz, S. (2001). *In vitro* evaluation in *Trichoderma* and *Gliocladium* antagonism against the symbiotic fungus of leaf-cutting and *Atta cephalotes*. *Mycopathol.* 150:53-60.

Parvel, M. El mundo de los zompopos, 13 abril 2012. Disponible en: <http://sompopera27.blogspot.com/2012/04/zompopos.html>.

Pérez, R. (2000). Lucha biológica contra la bibijagua (*Atta insularis* Güerin). Control Biológico de la bibijagua *Atta* insulares. Playa Ciudad de la Habana, Cuba (en línea) <http://www.aguascalientes.gob.mx/agro/produce/ATTA-BIO.htm>

Ross and Smith (1976). Data sheet on The Biological Control Agent *Romanomeris culicivora* Geneva: World Health Organization, 1980, (WHO/VBC/80.766) (VBC/BCDS/80.09).

Samson, R.A., H.C. Evans and J.P. Latgé. (1988). Atlas of entomopathogenic fungi. Springer, Verlag, Berlin.

Palacios F; Lopez J; Medrano M. Memoria del I Taller Nacional sobre el Manejo de Zompopos (*Atta y Acromyrmex*), (Tegucigalpa, Hn). (1997). Manejo de Zompopos. Tegucigalpa, HN. 16 p.

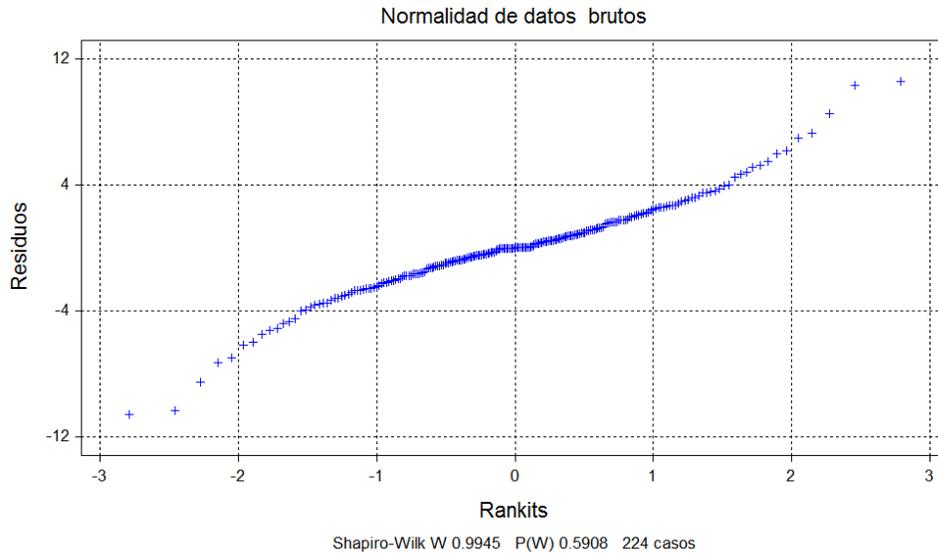
Tanada, Y. and H. K. Kaya. (1993). Insect pathology. Academic Press, San Diego, California, USA: 666p.

Vaccaro N.; Mousques Juan A. (1997) Hormigas cortadoras (Géneros *Atta* y *Acromyrmex*) y tacures en Entre Ríos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)- EEA Concordia, C.C. No. 34. (3200) Concordia, Entre Ríos, Argentina. p 2.

Vargas, R. (1997). Generación de una tecnología para el control de *Atta* spp. en plantaciones forestales con fungicidas de baja toxicidad humana. Tesis de Ing. Agr. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana. 37 p.

ANEXOS

INFESTACIÓN DE TRONERAS (Arcoseno)



Anexo 1. Prueba de normalidad de datos brutos, el valor de P(w) es > que 0.05 por tanto cumple con los datos de normalidad.

ARCOSENO (X/2)

Bartlett's Test of Equal Variances	Chi-Sq	DF	P
Cochran's Q	4.51	3	0.2113
Largest Var / Smallest Var	1.6211		

Anexo 2. Análisis de igualdad de varianza de Barlett's, con los datos transformados a Arcoseno. El valor de p > de 0.05 por lo tanto se considera que no hay diferencias entre las varianzas.

Analysis of Variance Table for ARCOSENO

Source	DF	SS	MS	F	P
TRATAMIEN	3	24687.8	8229.26	467.60	0.0000
Error TRATAMIEN*SITIO	4	70.4	17.60		
MUESTREO	13	1601.5	123.20	38.43	0.0000
TRATAMIEN*MUESTREO	39	12197.8	312.76	97.57	0.0000
Error TRATAMIEN*SITIO*MUESTREO	52	166.7	3.21		
Error	112	1892.3	16.90		
Total	223	40616.5			

Grand Mean 22.396
 CV (TRATAMIEN*SITIO) 18.73
 CV (TRATAMIEN*SITIO*MUESTREO) 7.99
 CV (Error) 18.35

Anexo 3. Análisis de varianza con los datos transformados al Arcoseno (X/2).

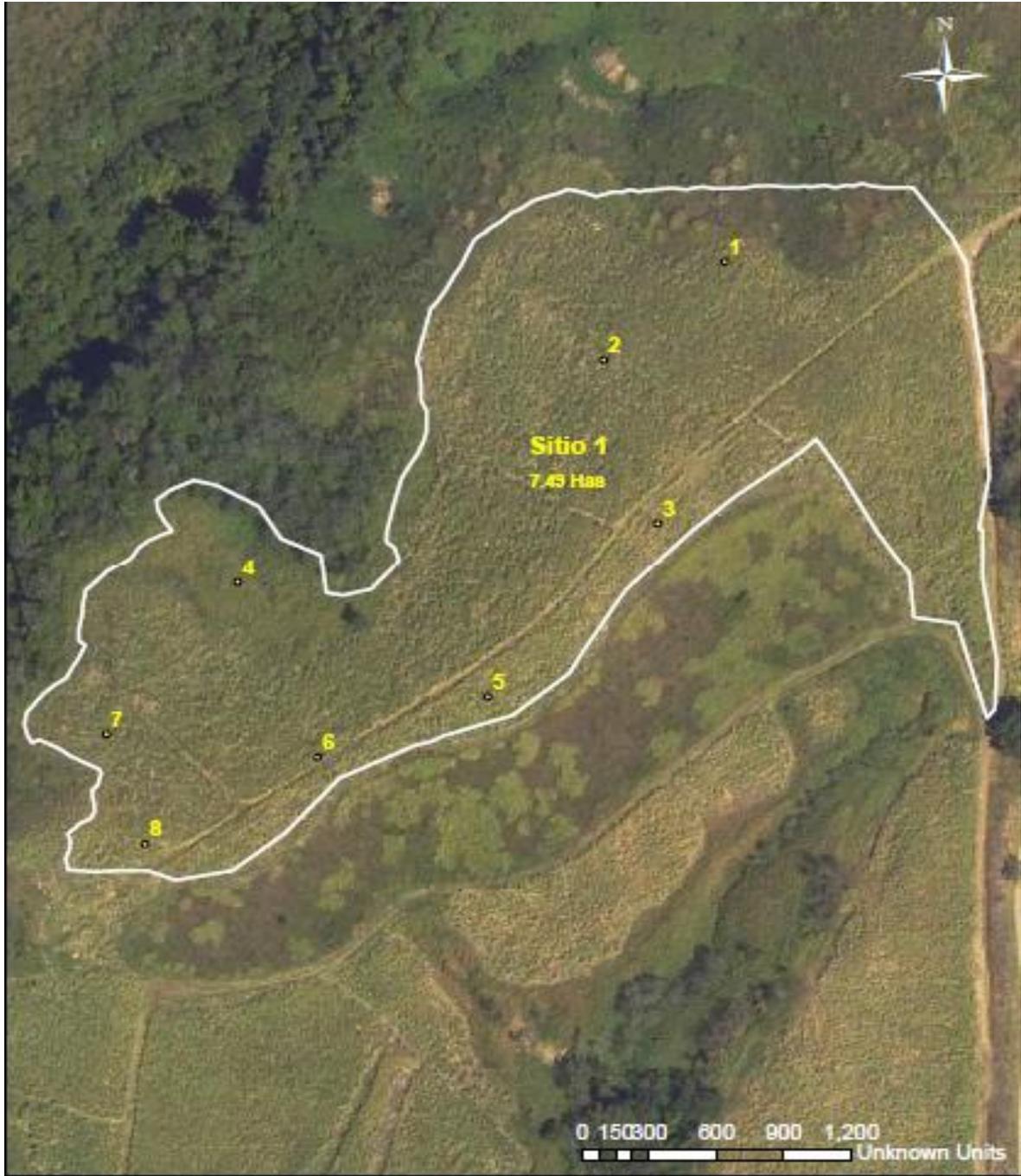


Figura 3. Sitio 1, ubicación de las troneras en campo. Finca Las Delicias Baúl, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

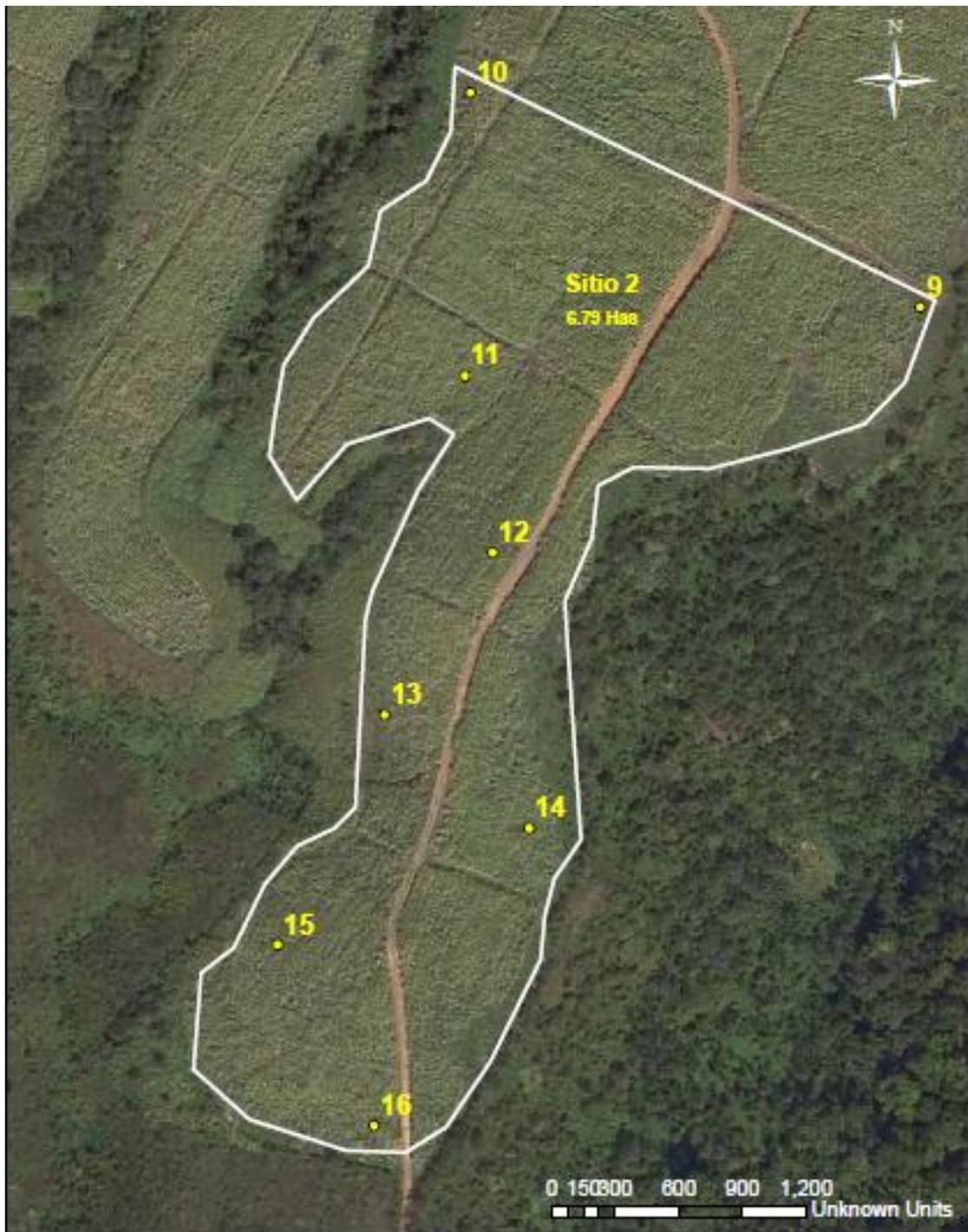


Figura 4. Sitio 2, ubicación de troneras en campo. Finca Las Delicias Baúl, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.



Figura 5. Conteo de zompopos.



Figura 6. Aplicación de hongos entomopatógenos.



Figura 7. Aplicación de productos.



Figura 8. Planta de reciente establecimiento



Figura 9. Planta defoliada por zompopos.



Figura 10. Zompopos en actividad alrededor de la tronera.