

VERONICA CAÑAS MESA

**EFEITOS DE BIOPESTICIDAS BASEADOS EM MICRORGANISMOS NA
RELAÇÃO DA FORMIGA CORTADEIRA *Acromyrmex aspersus* (HYMENOPTERA:
FORMICIDAE) E SEU FUNGO MUTUALISTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*

Orientador: José Cola Zanuncio

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Cañas Mesa, Veronica, 1995-
C213e Efeitos de biopesticidas baseados em microrganismos na
2021 relação da formiga cortadeira *Acromyrmex aspersus*
(Hymenoptera: Formicidae) e seu fungo mutualista / Veronica
Cañas Mesa. – Viçosa, MG, 2021.

1 dissertação eletrônica (43 f.): il. (algumas color.).

Orientador: José Cola Zanuncio.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.122>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Formiga-cortadeira - Controle. 2. Pesticidas -
Certificados e licenças. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em
Entomologia. II. Título.

CDD 22. ed. 595.796

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

VERONICA CAÑAS MESA

**EFEITOS DE BIOPESTICIDAS BASEADOS EM MICRORGANISMOS NA
RELAÇÃO DA FORMIGA CORTADEIRA *Acromyrmex aspersus* (HYMENOPTERA:
FORMICIDAE) E SEU FUNGO MUTUALISTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*

APROVADA: 30 de julho de 2021.

Assentimento:



Veronica Cañas Mesa
Autora



José Cola Zanuncio
Orientador

A Dios, mis padres y hermanos...

AGRADECIMENTOS

Nunca imaginei que nesses dois anos encontraria tantos anjos no meu caminho que tornariam esse processo muito mais fácil e suportável. Agradeço a Deus por me deixar nas mãos de pessoas tão maravilhosas e prestas para ajudar. Não poderia citar a todos, mas agradeço por me ajudar direta ou indiretamente na construção deste documento e com certeza fico, eternamente, grata.

Agradeço a meus pais e irmãos e meu sobrinho pelo apoio incondicional quando estive na minha pior época fora de casa, pelo amor, orações e por me permitirem cumprir meus sonhos sem condições. Agradeço ao Stiven por sempre estar presente para me encorajar e acompanhar, mesmo na distância, pelo amor, a paciência e os melhores conselhos nos meus momentos de crises.

Ao programa PAEC-OEA, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia pela oportunidade concedida para realização do mestrado. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro com a concessão da bolsa de estudos. Ao Prof. Dr. José Cola Zanuncio por me permitir fazer parte do laboratório e pela orientação e ensinamentos na redação científica. A todos os professores e colegas de turma que me ajudaram a me formar como mestre em Entomologia.

A Angelica e o Luis que além de serem meus coorientadores me acolheram como parte da sua família e me apoiaram incondicionalmente. Não tenho palavras para lhes agradecer por tudo o que fizeram (e continuam fazendo) por mim e minha família e serei eternamente grata por conhecê-los. Fico com os melhores momentos e guardarei cada um dos ensinamentos com muito carinho.

Aos meus amigos do Laboratório de Controle Biológico de Pragas, principalmente a Thay, que me ajudou sem condições e compartilhou comigo cada um dos seus aprendizados e me deu, mais do que seu apoio, sua amizade. Ao Weslei que também esteve presente para me ajudar. Ao Carlos e o Gabriel por me acompanhar nos meus dias mais difíceis e sempre ter uma mensagem de apoio disponível para me dar. A Bárbara por estar disponível para resolver as dúvidas que surgiram.

Aos meus amigos brasileiros Alba, Otávio, Laura, Gabriela, Lorraine e Géssica. Eu não vou esquecer cada um dos momentos e alegrias que passei com vocês. Espero que a gente consiga se ver de novo no caminho e que a amizade fique no tempo ultrapassando fronteiras.

Agradeço também ao Programa de Protección Forestal (PPF) pelo link com a empresa Reforestadora El Guasimo, MS Timberland que disponibilizou seus plantios para fazer a pesquisa e me ajudou com o transporte e os trabalhadores que me acompanharam em cada visita. A todas e cada uma das pessoas que me ajudaram na fase de campo, principalmente, ao senhor Luis Guillermo, Juan Raul, Jorge, Andrea, Juan Pablo, Andrés e Camilo. Sem vocês não teria sido possível fazer a coleta das formigas e dos dados em campo.

Aos meus amigos de sempre Tatiana, Jose, Christian, Alma, Hugo, Carolina, Camila e Laura que, também, foram parte da minha luta e me ajudaram do jeito que foi possível. Eu agradeço a amizade que ainda continua com os anos e espero continuar tendo seu apoio sempre.

Enfim, agradeço a Deus por me permitir terminar com sucesso este capítulo da minha vida e por me deixar tantos aprendizados acadêmicos e me cercar de pessoas tão especiais onde quer que eu vá.

RESUMO

MESA, Veronica Cañas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Efeitos de biopesticidas baseados em microrganismos na relação da formiga cortadeira *Acromyrmex aspersus* (Hymenoptera: Formicidae) e seu fungo mutualista.** Orientador: José Cola Zanuncio.

As formigas cortadeiras são uma praga importante em diferentes culturas na região Neotropical. Entre as indústrias mais afetadas encontra-se a florestal, que além de ter grandes perdas econômicas apresenta restrições para o uso de inseticidas químicos. A certificação florestal regulamenta o uso de pesticidas devido aos danos que podem produzir ao meio ambiente e a saúde humana, mas o controle químico é o mais econômico, eficiente e prático no caso das formigas cortadeiras. Assim, esta dissertação foi dividida em dois capítulos, o primeiro foi uma revisão que teve como objetivo descrever os principais aspectos da biologia das formigas e métodos de controle utilizados na Colômbia. Concluindo que ainda é necessário avaliar alternativas aos inseticidas químicos, mas que existem uma alta variedade de elementos que poderiam ser utilizados. O segundo capítulo foi a avaliação de quatro produtos biológicos no controle das formigas cortadeiras *Acromyrmex aspersus* F. Smith (Hymenoptera: Formicidae), baseados em fungos e bactérias. Estes produtos conseguiram mudar a atividade de forrageio e os comportamentos de locomoção, demonstrando um alto potencial para serem utilizados no controle das formigas.

Palavras-chave: Biopesticidas. Certificação florestal. Controle.

ABSTRACT

MESA, Veronica Cañas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2021. **Effects of microorganism-based biopesticides on the relationship of leaf-cutting ant *Acromyrmex aspersus* (Hymenoptera: Formicidae) and its mutualistic fungus.** Advisor: José Cola Zanuncio.

Leaf-cutting ants are an important pest in different cultures in the Neotropical region. Among the most affected industries is forestry, which, in addition to having great economic losses, has restrictions on the use of chemical insecticides. Forest certification regulates the use of pesticides due to the damage they can produce to the environment and human health, but chemical control is the most economical, efficient, and practical in the case of leaf-cutting ants. Thus, this dissertation was divided into two chapters, the first was a review that aimed to describe the main aspects of ant biology and control methods used in Colombia. Concluding that it is still necessary to evaluate alternatives to chemical insecticides, but that there is a high variety of elements that could be used. The second chapter was the evaluation of four biological products in the control of leaf-cutting ants *Acromyrmex aspersus* F. Smith (Hymenoptera: Formicidae), based on fungi and bacteria. These products were able to change the foraging activity and the locomotion behaviors, showing a high potential to be used in the control of ants.

Keywords: Biopesticides. Forest certification. Leaf cutting ants.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERÊNCIAS.....	10
CAPÍTULO 1. ASPECTOS BIOLÓGICOS E METODOS DE CONTROLE DAS FORMIGAS CORTADEIRAS NA INDUSTRIA FLORESTAL NA COLÔMBIA.....	11
INTRODUÇÃO	12
SETOR FLORESTAL NA COLÔMBIA	12
FORMIGAS CORTADEIRAS.....	13
MANEJO DAS FORMIGAS CORTADEIRAS.....	15
Controle mecânico.....	16
Controle químico	16
Controle biológico	18
CONCLUSÃO	19
BIBLIOGRAFIA	19
CAPÍTULO 2. EFEITOS DE MICRORGANISMOS PESTICIDAS NA FORMIGA CORTADEIRA <i>Acromyrmex aspersus</i> F. Smith (HYMENOPTERA: FORMICIDAE).	26
INTRODUÇÃO	28
MATERIAL E METODOS	29
Área de estudo	29
Aplicação dos biopesticidas.....	30
Forrageamento	31
Teste de locomoção	31
Análise estatística	31
RESULTADOS	32
Forrageamento	32
Teste de locomoção	33
DISCUSSÃO	37
CONCLUSÃO	38
REFERENCIAS.....	39

INTRODUÇÃO GERAL

No mundo existem 281 milhares de hectares e o 7% correspondem a plantações florestais e países como Peru, Colômbia, Brasil, Mexico e Bolívia possuem o 80% da cobertura de bosque da região neotropical (FAO, 2020).

A certificação florestal é um mecanismo para a gestão sustentável dos cultivos e florestas nativas no mundo, considerando aspectos ambientais, econômicos e sociais (ALVES et al., 2019). A principal certificadora, “*Forest Stewardship Council*” (FSC) regulamenta o uso de pesticidas em plantios florestais, classificando os produtos como proibidos, de uso muito restrito ou de uso restrito segundo os efeitos tóxicos causados na saúde e no médio ambiente (FSC, 2019).

Os plantios florestais são afetados por muitas pragas, mas os herbívoros mais importantes para a região neotropical são as formigas cortadeiras (BARBOSA et al., 2017). Estas formigas cortam folhas, flores e ramos secos que são levados aos formigueiros onde cultivam o fungo *Leucoagaricus gongylophorus* (Möller) Singer, sua principal fonte de alimentação (NICKELE et al., 2020).

O controle das formigas é complexo por seu comportamento social e o alto nível de higiene dos indivíduos e as colônias (DELLA LUCIA et al., 2014). O método mais utilizado são os inseticidas químicos como sulfluramida, clorpirifos e fipronil, classificados como restritos pela FSC (CATALANI et al., 2019).

O conhecimento das características biológicas e principais métodos utilizados e com potencial para o controle das formigas cortadeiras é fundamental para as empresas florestais certificadas ou que visem à certificação (BARBOSA et al., 2017).

Considerando o crescimento da indústria florestal na região neotropical e o aumento das restrições pelas certificadoras, este trabalho tem como objetivo contextualizar sobre o estado das formigas cortadeiras em plantações florestais na Colômbia, no primeiro capítulo. No segundo capítulo o objetivo foi avaliar os efeitos de biopesticidas baseados em bactérias e fungos, na atividade de forrageamento e os comportamentos de locomoção da formiga cortadeira *Acromyrmex aspersus* F. Smith. (Hymenoptera: Formicidae) em plantios de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. na Colômbia.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. R., FRAJ-ANDRÉS, E., ROJO-ALBORECA, A., GRACIOLI, C. R. Implementation of forest certification in Brazil, Spain and Portugal: an analytic hierarchy Process (AHP) application. **International Forestry Review**, v. 21, n. 1, p. 11-22, 2019.

BARBOSA, M. S., FORTI, L. C., FUJIHARA, R. T., RAETANO, C. G. Effects of diafenthiuron in toxic baits on colonies of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v. 64, n. 3, p. 256-260, 2017.

CATALANI, G. C., SOUSA, K. K., DA CAMARGO, R. S., CALDATO, N., MATOS, C. A., FORTI, L. C. Chemical control of leaf-cutting ants: how do workers disperse toxic bait fragments onto fungus garden? **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 63, n. 4, p. 290-295, 2019.

DELLA LUCIA, T. M., GANDRA, L. C., GUEDES, R. N. Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. **Pest Management Science**, v. 70, n. 1, p. 14-23, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Global Forest Resources Assessment 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>. Acesso em: 8 oct. 2021, 2020.

FSC. FSC Lists of highly hazardous pesticides. FSC-POL-30-001a EN, 2019.

NICKELE, M. A., REIS FILHO, W., PENTEADO, S. D. R., DE QUEIROZ, E. C., SCHAITZA, E. G., PIE, M. R. Potential damage by *Acromyrmex* ant species in pine plantations in southern Brazil. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 63, n. 1, p. 645-650, 2020.

CAPÍTULO 1. ASPECTOS BIOLÓGICOS E MÉTODOS DE CONTROLE DAS FORMIGAS CORTADEIRAS NA INDÚSTRIA FLORESTAL NA COLÔMBIA

RESUMO

As formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) estão entre os principais herbívoros na região neotropical para a indústria florestal. O objetivo desta revisão foi descrever os principais aspectos da biologia das formigas e métodos de controle utilizados na Colômbia. Aqui, apresentamos as principais características da indústria florestal na Colômbia, uma área em constante desenvolvimento e alto potencial. As generalidades da biologia e ecologia das formigas e sua interação com o fungo *Leucoagaricus gongylophorus* (Möller) Singer. Os benefícios que oferecem para os ecossistemas e as perdas que podem causar nos plantios. Finalmente expomos os principais métodos de controle, mecânico, químico e biológico; as vantagens e desvantagens do controle químico e as principais alternativas do controle biológico testadas na Colômbia.

Palavras-chave: Certificação florestal. Controle biológico. Controle químico. Interação.

ABSTRACT

Leaf-cutting ants of genus *Atta* and *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) are among the main herbivores in neotropical region for forest industry. The aim of this review was to describe the main aspects of ant biology and control methods used in Colombia. Here, we describe the main characteristics of the forest industry in Colombia, an area in constant development and high potential. Features of biology and ant ecology and its interaction with the fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Möller) Singer. The benefits they offer to ecosystems and the losses they can cause in plantations. Finally, we expose the main pest management strategies such as mechanical, chemical, and biological control; also, we discussed the advantages and disadvantages of chemical or biological control as the main alternative's ant method used in Colombia.

Keywords: Forest certification. Biological control. Chemical control. Interaction.

INTRODUÇÃO

A Colômbia possui 540.430 hectares plantados com monoculturas de pino, eucalipto e outras espécies florestais, mantendo um crescimento do 9,2% na área cultivada entre 2018 e 2019 (MADR, 2021). Formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* são consideradas como os principais herbívoros na região Neotropical, pois afetam o estabelecimento dos plantios e causam altas perdas econômicas (NICKELE et al., 2020). Essas espécies de formigas cortam folhas, flores e ramos secos que são levados aos ninhos para cultivar o fungo mutualista *Leucoagaricus gongylophorus* (Möller) Singer, sua principal fonte de alimentação (LOBO-ECHEVERRI et al., 2020; NICKELE et al., 2020).

O controle das formigas cortadeiras é mais difícil que o de outros insetos pragas devido ao comportamento social, alto nível de higiene dos indivíduos e das colônias, atividades de forrageio e cultivo de fungos mutualistas para sua alimentação (DELLA LUCIA et al., 2014; LEMES et al., 2017). O método de controle mais utilizado é o químico, aplicando inseticidas em pó e gases (AMARAL et al., 2019), mas as iscas formicidas é o método de aplicação mais prático, econômico e eficiente contra as formigas cortadeiras (CATALANI et al., 2019).

O uso de pesticidas na indústria florestal é regulamentado pela *Forest Stewardship Council* (FSC), principal entidade certificadora, classificando os produtos como proibidos, de uso muito restrito ou de uso restrito segundo os efeitos tóxicos causados na saúde e no médio ambiente (FSC, 2019a). Os principais produtos utilizados no controle das formigas estão classificados como restritos, mas a falta de produtos alternativos e eficientes tem produzido derrogações temporárias em países como Argentina, Brasil, Colômbia e Paraguai (FSC, 2019b).

Empresas florestais certificadas ou que visem a certificação precisam procurar produtos alternativos aos inseticidas químicos e que sejam efetivos no controle de formigas cortadeiras (BARBOSA et al., 2017). Assim, nesta revisão descrevemos os principais aspectos da biologia das formigas e métodos de controle utilizados na Colômbia.

SETOR FLORESTAL NA COLÔMBIA

A Colômbia possui uma área total de 114 milhares de hectares dos quais 24,8 milhares (22%) são apropriados para o estabelecimento de plantações florestais (DANE, 2019). O país tem 540.430 hectares cultivados correspondendo a aproximadamente 23,3% espécies de

Pinus, 15,5% espécies de *Eucalyptus* e 61,2% de outras espécies, distribuídas em diferentes regiões (MADR, 2021).

A produção de madeira ao ano 2018 foi de 9,1 milhares de toneladas, 6,4 milhares destinadas a lenha, 2,6 milhares a madeira serrada e polpa e 616.941 toneladas a pranchas de madeira (DANE, 2019). A maior parte da madeira produzida é utilizada para o consumo local, com maior número de importações que exportações (368.819 e 132.718 toneladas respectivamente) (MADR, 2019). Porém, o produto interno bruto da madeira e sua indústria atingiu um valor de US\$1945 milhares em 2020 (MADR, 2021).

As monoculturas e diminuição da diversidade nas proximidades dos cultivos, fazem que as possibilidades de forrageio das formigas cortadeiras seja limitada e aumente a pressão nos plantios (BOFF et al., 2016).

FORMIGAS CORTADEIRAS

Formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) são pragas importantes de plantios florestais na região Neotropical (BARBOSA et al., 2017; AMARAL et al., 2019), encontradas desde o sul dos Estados Unidos até Argentina (BUSTAMANTE et al., 2020). Dentre as espécies encontradas na Colômbia (Tabela 1), algumas causam perdas econômicas (FERNANDEZ et al., 2015), mas todas apresentam características particulares no comportamento social, atividade de forrageio, cultivo do fungo, níveis de higiene dos indivíduos e da colônia e complexidade estrutural nas colônias (LEMES et al., 2017).

Tabela 1. Espécies de formigas cortadeiras na Colômbia, número de estados onde estão presentes e faixa de altitude onde podem ser encontradas

Espécies	Distribuição geográfica
<i>Acromyrmex</i>	
<i>Acromyrmex aspersus</i> (Smith F., 1858)	12 estados (5 a 2500 m)
<i>Acromyrmex coronatus</i> (Fabricius, 1804)	12 estados (270 a 2400 m)
<i>Acromyrmex hystrix</i> (Latreille, 1802)	11 estados (60 a 1430 m)
<i>Acromyrmex landolti</i> Forel, 1885	8 estados (140 a 2300 m)
<i>Acromyrmex nobilis</i> Santschi, 1939	6 estados (100 a 1500 m)
<i>Acromyrmex octospinosus</i> (Reich, 1793)	25 estados (0 a 2430 m)

<i>Acromyrmex santschii</i> (Forel, 1912)	9 estados (0 a 2200 m)
<i>Acromyrmex subterraneus</i> Forel, 1893	
<i>Atta</i>	
<i>Atta cephalotes</i> (Linnaeus, 1758)	29 estados (0 a 3170 m)
<i>Atta colombica</i> Guérin - Méneville, 1844	22 estados (0 a 2240 m)
<i>Atta laevigata</i> (F. Smith, 1858)	17 estados (30 a 2840 m)
<i>Atta sexdens</i> (Linnaeus, 1758)	16 estados (35 a 1700 m)

Adaptado de Fernandez et al., 2015

A principal característica do comportamento social é a divisão de castas onde as operárias maiores atacam predadores e auxiliam no corte das folhas grossas, as médias são as principais coletoras ao cortar e transportar o material até o formigueiro e as menores cortam o material vegetal em fragmentos menores para inserir eles no jardim do fungo (DELLA LUCIA et al., 2014; CALHEIROS et al., 2019a). Dentro do formigueiro, formigas de diferentes tamanhos limpam e cortam constantemente o substrato do fungo, enquanto cuidadores patrulham o jardim para mantê-lo livre de microrganismos (CALHEIROS et al., 2019a; GOES et al., 2020).

O fungo *L. gongylophorus* degrada compostos secundários das plantas e os transforma em gongylídios, estruturas que constituem a principal fonte de alimentação para a rainha e as larvas (FORTI et al., 2020; VALENCIA-GIRALDO et al., 2021). Os indivíduos adultos podem obter parte da sua dieta pelos líquidos liberados pelas folhas que cortam, assimilando a glicose durante a ingestão (FORTI et al., 2020).

Ninhos de formigas do gênero *Atta* podem ter milhares de indivíduos e tamanhos maiores que os de *Acromyrmex* (SILVA et al., 2015). Os formigueiros de *Atta* podem ser identificados por montes de terra solta e a presença de diferentes entradas, enquanto os de *Acromyrmex* são mais difíceis de encontrar pela localização em solos cobertos por uma vegetação densa (VINHA et al., 2020).

IMPORTÂNCIA DAS FORMIGAS CORTADEIRAS

As formigas têm importância ecológica e econômica, pois afetam a biodiversidade, como dispersoras de sementes, estrutura do solo e disponibilidade de nutrientes em ecossistemas naturais na região Neotropical (BUTELER et al., 2019). Elas são consideradas

engenheiras dos ecossistemas ao alterar a disponibilidade de recursos para outros organismos com mudanças bióticas e abióticas do meio ambiente (CALHEIROS et al., 2019b).

A construção dos formigueiros modifica as propriedades do solo aumentando a areação, drenagem e penetração das raízes das plantas, matéria orgânica e mineralização e disponibilidade de nutrientes (DELLA LUCIA et al., 2014). A atividade de forrageio permite a dispersão secundária de sementes e pode melhorar a germinação pela manipulação (DELLA LUCIA et al., 2014; CALHEIROS et al., 2019b).

As formigas cortadeiras podem produzir perdas de bilhões de dólares ao ano, associados à diminuição da produtividade e os custos do controle químico (BRITO et al., 2020). Uma empresa florestal pode gastar entre o 30 e o 75% do orçamento destinado para o manejo de pragas só no controle das formigas cortadeiras (DELLA LUCIA et al., 2014). Devido a suas trilhas e numerosas populações, as formigas podem coletar mais de 130 kg de matéria fresca por hectare/ano (CALHEIROS et al., 2019a).

Os danos produzidos pelas formigas podem ser em mudas e em árvores adultos, mas o ataque não é da mesma intensidade (NICKELE et al., 2020). Na fase do estabelecimento do plantio as mudas são mais suscetíveis e podem ser fortemente atacadas, precisando replantio em algumas áreas (BURATTO et al., 2017). Além da idade, a variedade ou tipo do clone plantado pode influenciar a taxa de ataque das formigas (NICKELE et al., 2020), sendo alguns mais suscetíveis do que outros.

A presença de entre 8 e 15 formigueiros de *Acromyrmex* por hectare pode produzir perdas na produção de madeira iguais ao custo do controle da praga em plantações de *Salix nigra* (JIMENEZ et al., 2020). Este valor poderia ser diferente para outras espécies mais ou menos suscetíveis, mas desfolhas superiores ao 75% da árvore, podem causar perdas no crescimento dos plantios de pino, com reduções de volume de 32 a 43% aos 10 anos (NICKELE et al., 2020), indicando que o manejo é essencial.

MANEJO DAS FORMIGAS CORTADEIRAS

Os métodos de controle para as formigas cortadeiras podem ser mecânicos, químicos e biológicos (DAZA et al., 2019).

Controle mecânico

Este tipo de controle é feito em formigueiros superficiais e em áreas pequenas (DELLA LUCIA et al., 2014). Consiste na remoção do formigueiro para a extração da rainha e destruição das câmeras, mas só apresenta uma efetividade de 30% (DAZA et al., 2020). Outras metodologias que podem ser aplicadas é a cobertura dos troncos das árvores com graxa, fita adesiva, ou cilindros de plástico pode ter alguma eficácia em plantações menores, mas precisam de manutenção constante (VINHA et al., 2020).

Controle químico

O controle químico é o método mais prático, econômico e eficiente para as formigas cortadeiras (CATALANI et al., 2019). Este tipo de controle pode ser feito em forma de gases, pós secos, líquidos, termonebulização e iscas granuladas (AMARAL et al., 2019).

As iscas formicidas granuladas são muito utilizadas e altamente eficientes, de fácil aplicação, dispensam aparelhos e não apresentam perigos de intoxicação como o uso de outros métodos de aplicação (BURATTO et al., 2017). Entretanto, existem um número limitado de ingredientes ativos eficientes devido a que, contrário ao controle de outras pragas, é indesejável a mortalidade direta das operárias (GANDRA et al., 2016). Os ingredientes ativos não podem mudar o comportamento das operárias, pois precisam chegar até o interior do formigueiro para serem processados com o material vegetal coletado, aumentando a contaminação das operárias e do jardim do fungo (CATALANI et al., 2019).

A sulfluramida e o fipronil são os principais inseticidas usados em forma de iscas formicidas (DELLA LUCIA et al., 2014; AMARAL et al., 2019; BUTELER et al., 2019). A sulfluramida atua por ingestão e quando está presente no corpo das formigas, atua diretamente na mitocôndria, no processo de fosforilação oxidativa, inibindo a síntese de ATP, produzindo a morte dos insetos (BARBOSA et al., 2017). As operárias apresentam sintomas de intoxicação como movimentação lenta, diminuição da agressividade pelos baixos níveis de energia e finalmente causam a morte (CATALANI et al., 2019).

O fipronil é um neurotóxico que bloqueia os canais de cloreto no receptor do ácido gamma-aminobutírico nos insetos (CINTRA-SOCOLOWSKI et al., 2016). Este inseticida não interfere na coleta das formigas, não produz repelência ou mortalidade direta a curto prazo e as operárias não são rejeitadas ao voltar para o formigueiro (GANDRA et al., 2016).

As formigas menores são mais afetadas, deteriorando o comportamento de higiene e a proteção do jardim do fungo, produzindo finalmente a morte da colônia (GANDRA et al., 2016).

Apesar da efetividade das iscas e inseticidas utilizados, esta metodologia está limitada aos períodos de verão, pois existe uma alta perda de produto pela humidade, fazendolas menos atrativas para as formigas (BOLLAZZI et al., 2014). A termonebulização é uma alternativa ao uso de iscas formicidas, principalmente em épocas de chuvas, mas que pode ser utilizada em qualquer período do ano (BRITTO et al., 2016) permitindo atingir todas as câmaras do ninho (BOLLAZZI et al., 2014). Este método é mais usado no controle de espécies de *Atta* com alta eficiência sobre formigueiros grandes, com a vantagem de não precisar de um preparo ou medição dos formigueiros (ZANETTI et al., 2008).

O clorpirifós tem sido reportado com alta eficiência no controle de formigas cortadeiras quando é aplicado com termonebulizador (BRITTO et al., 2016). Este inseticida é um organofosforado moderadamente tóxico que inibe na sinalização da acetilcolinesterase com o aumento da acetilcolina na sinapse dos neurônios e em dosagens menores pode afetar outros neurotransmissores, enzimas e células (PLATA-RUEDA et al., 2020).

A certificação florestal é um mecanismo para a gestão sustentável dos cultivos e florestas nativas no mundo, considerando aspectos ambientais, econômicos e sociais (ALVES et al., 2019). A FSC regulamenta o uso de pesticidas em plantios florestais, classificando os produtos como proibidos, de uso muito restrito ou de uso restrito segundo os efeitos tóxicos causados na saúde e no médio ambiente (FSC, 2019a). A sulfluramida, o fipronil e o clorpirifós estão classificados como de uso restrito pela FSC (FSC, 2019a), mas a falta de produtos alternativos, com a mesma eficiência no controle das formigas cortadeiras tem aprovado derrogações temporárias que permitem sua utilização em países como Colômbia (FSC, 2019b).

Entre as condições da FSC ao momento de aprovar as derrogas para os pesticidas está a redução das doses em 5% por ano e a busca de métodos de controle não químicos como o controle biológico (JIMENEZ et al., 2020). Assim, a busca de produtos alternativos aos inseticidas químicos e que sejam efetivos no controle de formigas é indispensável para as empresas florestais certificadas ou que visem a certificação (BARBOSA et al., 2017).

Controle biológico

A redução do uso de inseticidas tem favorecido a busca de alternativas de controle efetivas com menores impactos ambientais (MEJIA et al., 2018). O controle biológico pode ser feito por parasitoides, entomopatógenos, fungos antagônicos ao fungo simbiote das formigas e extratos de origem botânico (LONDOÑO et al., 2019). Diferentes pesquisas em cada um dos tipos de controle biológico têm sido desenvolvidas na Colômbia (CASTAÑO-QUINTANA et al., 2013; DAZA et al., 2019; URIBE et al., 2016).

Padrões comportamentais das moscas dos gêneros *Apocephalus* Coquillet, *Myrmosicarius* Borgmeier e *Eibesfeldtphora* Disney (Diptera: Phoridae) foram analisados pois elas atacam formigas operárias reduzindo a atividade de forrageio, o tamanho dos fragmentos transportados, perda das interações competitivas pelos alimentos e até abandono das fontes de alimentação (COCHET et al., 2017). As fêmeas depositam um ovo no corpo da formiga e se alimenta até virar pupa; a finalidade do ciclo é desconhecida pois a pupa da mosca pode ser descartada pelas formigas (GUILLADE & FOLGARAIT, 2014). Porém, é pouco provável que o ataque dos parasitoides consiga suprimir a colônia (DELLA LUCIA et al., 2014).

Fungos entomopatogênicos como *Metharizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin e *Beauveria bassiana* (Bals) Vuill infetam formigas e acabam com as colônias (VINHA et al., 2020). *M. anisopliae* infeta os insetos formando apressórios que produzem enzimas proteolíticas extracelulares e com atividade quitinolítica (LOPEZ & ORDUZ, 2003). *B. bassiana* é aderido à cutícula do inseto, forma apressórios e descompõe a quitina pela combinação da resistência mecânica e degradação enzimática (DAZA et al., 2019). No caso das bactérias, *Bacillus thuringiensis*, *Serratia marcescens*, *Escherichia hermannii*, *Delftia tsuruhatensis* e *Acinetobacter beijerinckii* conseguiram matar o 100% das formigas em 24 h (LONDOÑO et al., 2019). No entanto, a maioria dos resultados está limitada a ensaios de laboratório (DELLA LUCIA et al., 2014).

As formigas cortadeiras tem uma relação mutualista com o fungo *L. gonglylophorus*, e sua morte produz a morte da colônia (CALHEIROS et al., 2019). Assim, o uso de organismos antagonistas ao fungo também são uma alternativa de controle. Fungos do gênero *Trichoderma* penetram as hifas do fungo parasitado, degradando as paredes celulares pela produção de enzimas líticas extracelulares, formando poros que chegam até o citoplasma onde extraem os nutrientes necessários para seu desenvolvimento (DAZA et al., 2019). Além

disso, bactérias dos gêneros *Xenorhabdus* e *Photorhabdus* também tem propriedades antifúngicas contra o fungo simbiote das formigas cortadeiras (LONDOÑO et al., 2019).

Algumas plantas têm desenvolvido metabolitos secundários que repelem a atividade de forrageio, mudam o comportamento das formigas ou tem efeitos tóxicos sobre as formigas ou o fungo (RODRIGUEZ et al., 2015). Extratos da planta *Tithonia diversifolia* têm sido testados no controle de formigas com uma mortalidade de 100% em 8 dias (PANTOJA-PULIDO et al., 2020). O nem também produz a morte de operarias maiores e menores, sem produzir respostas imunes nas formigas (AMARAL et al., 2019).

Extratos de *Euphorbia cotinifolia* L. (MEJIA et al., 2018), *Carica papaya* L. (LOBO-ECHEVERRI et al., 2020) e *Piper holtonii* C. DC. (SALAZAR et al., 2020) têm demonstrado propriedades antifúngicas, especificamente para *L. gongylophorus*. *Euphorbia cotinifolia* é usada na Colômbia em formigueiros para reduzir ou deter temporariamente sua atividade, afetando o fungo simbiótico e reduzindo seu volume em 83,57% (MEJIA et al., 2018). As folhas de *C. papaya* conseguem inibir o crescimento do fungo e afetar a toda a atividade dentro do formigueiro (LOBO-ECHEVERRI et al., 2020). Os extratos de óleo essencial de *P. holtonii* conseguem afetar as preferências de forrageio e inibir o desenvolvimento do fungo (SALAZAR et al., 2020).

Embora existam muitas alternativas biológicas para o controle de formigas cortadeiras, em condições de campo geralmente não apresentam alta efetividade devido à capacidade das formigas de se defender contra os agentes de controle (VALENCIA-GIRALDO et al., 2019). Porém, é necessário desenvolver alternativas e melhorar as existentes.

CONCLUSÃO

As formigas cortadeiras são pragas importantes para a indústria florestal na Colômbia e as restrições impostas pela certificação florestal dificultam o controle efetivo. Os métodos químicos continuam sendo os mais utilizados e eficientes, mas existem muitas alternativas de controle biológico que precisam ser testadas e perfeiçoadas para sua utilização em campo.

BIBLIOGRAFÍA

ALVES, R. R., FRAJ-ANDRÉS, E., ROJO-ALBORECA, A., GRACIOLI, C. R. Implementation of forest certification in Brazil, Spain and Portugal: an analytic hierarchy Process (AHP) application. **International Forestry Review**, v. 21, n. 1, p. 11-22, 2019.

AMARAL, K. D., GANDRA, L. C., DE OLIVEIRA, M. A., DE SOUZA, D. J., DELLA LUCIA, T. M. Effect of azadirachtin on mortality and immune response of leaf-cutting ants. **Ecotoxicology**, v. 28, n. 10, p. 1190-1197, 2019.

BARBOSA, M. S., FORTI, L. C., FUJIHARA, R. T., RAETANO, C. G. Effects of diafenthiuron in toxic baits on colonies of leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v. 64, n. 3, p. 256-260, 2017.

BOFF, P., GIESEL, A., CARISSIMI BOFF, M. I. No-residual baits and farmer perception to manage leaf-cutting ants. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 40, n. 5, p. 451-465, 2016.

BOLLAZZI, M., FORTI, L. C., MOREIRA, S., ROCES, F. Efficiency and soil contamination during underground application of insecticides: control of leaf-cutting ants with thermal foggers. **Journal of Pest Science**, v. 87, v. (1). p. 181–189, 2014.

BRITO, F. A., BACCI, L., SANTANA, A., SILVA, J. E., NIZIO, D. A., NOGUEIRA, P. C., ARRIGONI-BLANK, M. F., MELO, C. R., MELO, J. O., BLANK, A. F. Toxicity and behavioral alterations caused by essential oils of *Croton tetradenius* and their major compounds on *Acromyrmex balzani*. **Crop Protection**, v. 137, n. 105259, 2020.

BURATTO, D. A., SOUSA, N. J., SOUZA, M. D., ROLIN, F. A. Resistência de iscas granuladas, distribuídas a granel e em microporta-iscas, à ação da umidade em plantio de *Pinus taeda* no planalto sul-catarinense. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 1083-1093, 2017.

BUSTAMANTE, S., AMARILLO-SUÁREZ, A., WIRTH, R. Effects of pasture and forest microclimatic conditions on the foraging activity of leaf-cutting ants. **Biotropica**, v. 52, n. 4, p. 697-708, 2020.

BUTELER, M., ALMA, A. M., HERRERA, M. L., GOROSITO, N. B., FERNANDEZ, P. C. Novel organic repellent for leaf-cutting ants: tea tree oil and its potential use as a management tool. **International Journal of Pest Management**, v. 67, n. 1, p. 1-9, 2021.

CALHEIROS, A. C., RONQUE, M. U., OLIVEIRA, P. S. Social Organization and Subcaste Specialization in the Leaf-Cutting Ant *Acromyrmex subterraneus* (Formicidae: Myrmicinae). **Journal of Insect Behavior**, v. 32, n. 4, p. 267-280, 2019a.

CALHEIROS, A. C., RONQUE, M. U., SOARES JR, H., OLIVEIRA, P. S. (2019). Foraging Ecology of the Leaf-Cutter Ant, *Acromyrmex subterraneus* (Hymenoptera: Formicidae), in a Neotropical Cerrado Savanna. **Environmental entomology**, v. 48, n. 6, p. 1434-1441, 2019.

CASTAÑO-QUINTANA, K., MONTOYA-LERMA, J., GIRALDO-ECHEVERRI, C. Toxicity of foliage extracts of *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) on *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) workers. **Industrial Crops and Products**, v. 44, n 1, p. 391-395, 2013.

CATALANI, G. C., SOUSA, K. K., DA CAMARGO, R. S., CALDATO, N., MATOS, C. A., FORTI, L. C. Chemical control of leaf-cutting ants: how do workers disperse toxic bait fragments onto fungus garden? **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 63, n. 4, p. 290-295, 2019.

CINTRA-SOZOLOWSKI, P., ROAT, T. C., NOCELLI, R. C., NUNES, P. H., FERREIRA, R. A., MALASPINA, O., BUENO, O. C. Sublethal doses of fipronil intensify synapsin immunostaining in *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) brains. **Pest management science**, v. 72, n. 5, p. 907-912, 2016.

COCHET, R. B., ORTEGA, A. L., ORTIZ-REYES, A. Patrones comportamentales de fóridos (Diptera: Phoridae) parasitoides de *Atta colombica* (Hymenoptera: Formicidae). **Revista de Biología Tropical**, v. 65, n. 2, p. 461-473, 2017.

DAZA, F. F. F, ROMAN, G. R., RODRIGUEZ, M. V., VARGAS, I. A. G, HEANO, H. C, CEREDA, M. P., & MULET, R. A. C. Spores of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma lignorum* as a bioinsecticide for the control of *Atta cephalotes*. **Biological Research**, v. 52, n. 51, p. 1-8, 2019.

DELLA LUCIA, T. M., GANDRA, L. C., GUEDES, R. N. Managing leaf-cutting ants: peculiarities, trends and challenges. **Pest Management Science**, v. 70, n. 1, p. 14-23, 2014.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). Boletín Técnico. Cuenta ambiental y económica de flujos de productos del bosque 2017-2018. Cuenta Satélite Ambiental (CSA). Bogotá. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuenta-ambiental-flujos-productos-del-bosque/Bol_bosque_2017_2018prov.pdf. Acceso en: 20 sep. 2021, 2019.

FERNÁNDEZ, F., HUERTAS, A. V. C., SERNA-CARDONA, F. J. Hormigas cortadoras de hojas de Colombia: *Acromyrmex* & *Atta* (Hymenoptera: Formicidae). Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales, p. 352 2015.

FORTI, L. C., AANDRADE, A. P. P., SOUSA, K. K. A., CAMARGO, R. S., MATOS, C. A. O., CALDATO, N., CATALANI, G. C. RAMOS, V. M. Do workers from subspecies *Acromyrmex subterraneus* prepare leaves and toxic baits in similar ways for their fungus garden? **Neotropical Entomology**, v. 49, n. 1, p. 12-23, 2020.

FSC. FSC Lists of highly hazardous pesticides. FSC-POL-30-001a EN, 2019a.

FSC. List of approved derogations for use of ‘highly hazardous’ pesticides. FSC PRO-30-001a EN, 2019b.

GANDRA, L. C., AMARAL, K. D., COUCEIRO, J. C., DELLA LUCIA, T. M., GUEDES, R. N. Mechanism of leaf-cutting ant colony suppression by fipronil used in attractive toxic baits. **Pest management science**, v. 72, n. 8, p. 1475-1481, 2016.

GOES, A. C., BARCOTO, M. O., KOOJI, P. W., BUENO, O. C., RODRIGUES, A. How Do leaf-cutting ants recognize antagonistic microbes in their fungal crops? **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 8, n. 95, 2020.

GUILLADE, A. C., FOLGARAIT, P. J. Natural enemies of *Atta vollenweideri* (Hymenoptera: Formicidae) leaf-cutter ants negatively affected by synthetic pesticides, chlorpyrifos and fipronil. **Journal of economic entomology**, v. 107, n. 1, p. 105-114, 2014.

JIMÉNEZ, N. L., FOSCO, I. R., NASSAR, G. C., SÁNCHEZ-RESTREPO, A. F., DANNA, M. S., CALCATERRA, L. A. Economic Injury Level and Economic Threshold as required by Forest Stewardship Council for management of leaf-cutting ants in forest plantations. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 23, n. 1, p. 87-96, 2021.

LEMES, P. G., ZANUNCIO, J. C., SERRÃO, J. E., LAWSON, S. A. Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy and integrated pest management in certified tropical plantations. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 2, p. 1283-1295, 2017.

LOBO-ECHEVERRI, T., GALINDO, V. M., AUBAD, P., ORTIZ-REYES, A., PRECIADO, L. M., SÁNCHEZ, M., JIMÉNEZ, J., THOMAS, O. P. Inhibition of *Leucoagaricus gongylophorus* with *Carica papaya*: an alternative to control the leaf-cutter ant *Acromyrmex octospinosus*. **International Journal of Pest Management**, v. 66, n. 3, p. 201-214, 2020.

LONDOÑO, M. U., ROMERO-TABAREZ., REYES, A. O. Bacterial extracts for the control of *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) and its symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Agaricales: Agaricaceae). **Revista de Biología Tropical**, v. 67, n. 4, p. 1010-1022, 2019.

LOPEZ, E., ORDUZ, S. *Metarhizium anisopliae* and *Trichoderma viride* for control of nests of the fungus-growing ant, *Atta cephalotes*. **Biological Control**, v. 27, n. 2, p. 194-200, 2003.

MEJIA, S. Y. M., RODRIGUEZ, J., MONTOYA-LERMA, J. *Euphorbia cotinifolia* (Euphorbiaceae): a promising alternative for leaf cutting ant *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) control. **Biocontrol Science and Technology**, v. 28, n. 5, p. 486-495, 2018.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Cadena Forestal Indicadores, Apoyo. Bogotá. Disponível em: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Forestal/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>. Acesso em: 23 sep. 2021, 2019.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Boletín Estadístico Forestal. Bogotá. Disponivel em: [https://www. forestalmaderero.com/wp-content/uploads/2021/04/3-BOLETIN-ESTADISTICO-FORESTAL-MARZO2021-comprimido.pdf](https://www.forestmaderero.com/wp-content/uploads/2021/04/3-BOLETIN-ESTADISTICO-FORESTAL-MARZO2021-comprimido.pdf). Acceso em: 24 jun. 2021, 2021.

NICKELE, M. A., REIS FILHO, W., PENTEADO, S. D. R., DE QUEIROZ, E. C., SCHAITZA, E. G., PIE, M. R. Potential damage by *Acromyrmex* ant species in pine plantations in southern Brazil. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 63, n. 1, p. 645-650, 2020.

PANTOJA-PULIDO, K. D., RODRIGUEZ, J., ISAZA-MARTINEZ, J. H., GUTIERREZ-CABRERA, M., COLMENARES-DULCEY, A. J., MONTOYA-LERMA, J. Insecticidal and Cholinesterase Activity of Dichloromethane Extracts of *Tithonia diversifolia* on *Atta cephalotes* Worker Ants (Formicidae: Myrmicinae). **Insects**, v. 11, n. 3, p. 180, 2020.

PLATA-RUEDA, A., MENEZES, C. H. M., DOS SANTOS CUNHA, W., ALVARENGA, T. M., BARBOSA, B. F., ZANUNCIO, J. C., MARTÍNEZ, L. C., SERRÃO, J. E. Side-effects caused by chlorpyrifos in the velvetbean caterpillar *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemosphere**, v. 259, n. 127530, 2020.

RODRIGUEZ, J., MONTOYA-LERMA, J., CALLE, Z. Effect of *Tithonia diversifolia* Mulch on *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) nests. **Journal of Insect Science**, v.15, n. 1, 2015.

SALAZAR, L. C., ORTIZ-REYES, A., ROSERO, D. M., LOBO-ECHEVERRI, T. Dillapiole in *Piper holtonii* as an Inhibitor of the Symbiotic Fungus *Leucoagaricus gongylophorus* of Leaf-Cutting Ants. **Journal of chemical ecology**, v. 46, n. 8, p. 668-674, 2020.

SILVA, L. C., CAMARGO, R. S., FORTI, L. C., MATOS, C. A. O., TRAVAGLINI, R. V. Do *Atta sexdens rubropilosa* workers prepare leaves and bait pellets in similar ways to their symbiotic fungus? **Sociobiology**, v. 62, n. 4, p. 484-493, 2015.

URIBE, S., BROWN, B. V., CORREA, G., ORTIZ, A. Phorids associated with nests of *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) in a forest and a plantation. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 42, n. 1, p. 48-53, 2016.

VALENCIA-GIRALDO, S. M., CASTAÑO-QUINTANA, K., GIRALDO-ECHEVERRI, C., ARMBRECHT, I., MONTOYA-LERMA, J. Refuse dumps in *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) nests as a source of native entomopathogens for biological control. **Biocontrol Science and Technology**, v. 30, n. 2, p. 132-142, 2020.

VALENCIA-GIRALDO, S. M., NIÑO-CASTRO, A., LÓPEZ-PEÑA, A., TREJOS-VIDAL, D., CORREA-BUENO, O., MONTOYA-LERMA, J. Immunity and survival response of *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Myrmicinae) workers to *Metarhizium anisopliae* infection: Potential role of their associated microbiota. **Plos one**, v. 16, n. 2, e0247545, 2021.

VINHA, G. L., ALCANTARA-DE LA CRUZ, R., DELLA LUCIA, T. M. C., WILCKEN, C. F., DA SILVA, E. D., LEMES, P. G., ZANUNCIO, J. C. Leaf-cutting ants in commercial forest plantations of Brazil: biological aspects and control methods. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 82, n. 2, p. 95-103, 2020.

ZANETTI, R., ZANUNCIO, J. C., SOUZA-SILVA, A., MENDONÇA, L. A., MATTOS, J. O. S., RIZENTAL, M. S. Eficiência de produtos termonebulígenos no controle de *Atta laevigata* (Hymenoptera: Formicidae) em plantio de eucalipto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1313-1316, 2008.

CAPÍTULO 2. EFEITOS DE MICRORGANISMOS PESTICIDAS NA FORMIGA CORTADEIRA *Acromyrmex aspersus* F. Smith (HYMENOPTERA: FORMICIDAE)

RESUMO

Acromyrmex aspersus (Hymenoptera: Formicidae) danifica plantas de *Pinus patula* na Colômbia. O controle dessa espécie é complexo devido ao seu comportamento de higiene e cultivo do fungo *Leucoagaricus gongylophorus*, seu principal alimento. A certificação florestal tem limitado o uso de inseticidas químicos no controle das formigas, embora sejam os mais efetivos. A busca por produtos alternativos com baixo impacto ambiental é uma necessidade. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de biopesticidas baseados em bactérias e fungos na relação da formiga cortadeira *A. aspersus* e o fungo mutualista *L. gongylophorus* em plantios de *P. patula*. Quatro doses de biopesticidas *Bacillus pumillus*, *Bacillus subtilis*, *Purpureocillum lilacinum* e *Trichoderma harzianum* foram aplicados em ninhos de *A. aspersus*. O forrageamento foi avaliado pela contagem de formigas operárias, uma vez por semana, por 15 dias, após a aplicação dos tratamentos. O comportamento de locomoção incluindo distância percorrida, tempo parado e meandering foram analisados. O maior número de formigas sem carga foi no controle e com carga no tratamento com *P. lilacinum*. A distância percorrida por formigas tratadas com *B. pumillus* e *P. lilacinum* foi maior e tempo de parada menor, indicando um comportamento de hiperatividade, enquanto as tratadas com *B. subtilis* e *T. harzianum* passaram mais tempo paradas como mecanismo de proteção. O meandering foi menor em todos os tratamentos indicando um comportamento de escape. Os biopesticidas afetaram o comportamento de forrageio e locomoção, sendo uma alternativa potencial para o manejo de *A. aspersus*.

Palavras-chave: Comportamento. Controle biológico. Forrageio. Locomoção.

ABSTRACT

Acromyrmex aspersus (Hymenoptera: Formicidae) damages *Pinus patula* plants in Colombia. The control of this species is complex due to its hygiene behavior and cultivation of the fungus *Leucoagaricus gongylophorus*, its main food source. Forest certification has limited the use of chemical insecticides to control ants, although they are the most effective. The search for alternative products with low environmental impact is a necessity. The aim of this study was to evaluate the effects of biopesticides based on bacteria and fungi in the leaf-cutting ant *A. aspersus* and the mutualistic fungus *L. gongylophorus* relationship in *P. patula*

plantations. Four doses of biopesticides *Bacillus pumillus*, *Bacillus subtilis*, *Purpureocillium lilacinum* and *Trichoderma harzianum* were applied to *A. aspersus* nests. Foraging was evaluated by counting worker ants, once a week, for 15 days, after application of treatments. The locomotion behavior including covered distance, downtime and meandering were analyzed. The largest number of ants without load was in the control and with load in the treatment with *P. lilacinum*. The distance traveled by ants treated with *B. pumillus* and *P. lilacinum* was greater and the time spent stopping short, indicating a hyperactivity behavior, while those treated with *B. subtilis* and *T. harzianum* spent more time standing as a protection mechanism. Meandering was lower in all treatments indicating an escape behavior. Biopesticides affected foraging and locomotion behavior, being a potential alternative for the management of *A. aspersus*.

Keywords: Behavior. Biological control. Foraging. Locomotion.

INTRODUÇÃO

As formigas cortadeiras são pragas importantes em diferentes culturas como *Citrus*, cana-de-açúcar e no reflorestamento na região neotropical (AMARAL et al., 2019). A indústria florestal em países como Colômbia tem sido altamente afetada, com problemas reportados até nas árvores urbanas (LONDOÑO et al., 2019).

O *Pinus patula* Schltdl. & Cham. é uma das espécies mais utilizadas na Colômbia com mais de 60 mil hectares plantadas ao ano 2020 (MADR, 2021). A espécie foi introduzida na Colômbia desde México na década de 1960 para reflorestamento e seu pacote tecnológico está bem desenvolvido (MERLE & LOPEZ, 2018). Seu êxito no país é devido a que suas características fisiológicas conseguem se adaptar bem às diferentes condições climáticas e do solo (PENAGOS et al., 2011).

Espécies do gênero *Acromyrmex* são pragas importantes em plantios de *Pinus* spp. (NICKELE et al., 2020). *Acromyrmex aspersus* F. Smith (Hymenoptera: Formicidae) é uma espécie de formiga cortadeira distribuída na Argentina, Brasil, Colômbia e Peru (FERNANDEZ et al., 2015) e praga importante em plantios de *Pinus patula*, na Colômbia. Essa formiga constrói ninhos subterrâneos, cobertos por uma camada de palha, sobre árvores ou em oco daquelas derrubadas (FORTI et al., 2011).

Esta espécie de formigas, ao igual que outras, possui comportamento social, alto nível de higiene das formigas e a colônia, atividade de forrageio (LEMES et al., 2017) e cultivam o fungo *Leucoagaricus gongylophorus* (Möller) Singer, sua principal fonte de alimento, a partir das folhas, flores e ramos secos que cortam (LOBO-ECHEVERRI et al., 2020).

O principal método de controle das formigas cortadeiras é o químico por ser eficiente, econômico e prático (CATALANI et al., 2019). Entanto, as iniciativas de certificação florestal têm aumentado as restrições ao uso de pesticidas de origem químico devido aos efeitos tóxicos para o meio ambiente e a saúde humana (FSC, 2019a), incluindo os utilizados no controle das formigas cortadeiras.

A *Forest Stewardship Council* (FSC) tem feito derrogas temporárias para a utilização dos inseticidas em países como Argentina, Brasil, Colômbia e Paraguai (FSC, 2019b), com a condição de procurar produtos ou estratégias de controle alternativas como inimigos naturais, feromônios ou extratos de plantas que sejam efetivos para o controle de formigas cortadeiras (MEJIA et al., 2018).

Organismos entomopatogênicos ou antagonistas ao fungo, como bactérias e fungos, são uma alternativa no manejo de pragas agrícolas e florestais reduzindo os impactos

ambientais produzidos pelos pesticidas de síntese química (TOLEDO et al., 2015). Poucos produtos de origem biológico estão disponíveis no mercado mundial contra organismos praga específicos (LONDOÑO et al., 2019), mas são uma opção para causar efeitos prejudiciais na relação mutualista entre as formigas cortadeiras e seus fungos.

As bactérias *Bacillus subtilis* e *Bacillus pumillus* produzem proteínas tóxicas com propriedades antifúngicas e entomopatogênicas, como as proteínas Cry, Cyt e Vip (TOLEDO et al., 2015). O fungo antagonista *Trichoderma harzianum* é um parasito de outros fungos, que produz enzimas extracelulares como quitinasas e celulasas que destroem as paredes do fungo parasitado (DAZA et al., 2019). *Purpureocillium lilacinum* é usado no controle de insetos e rico em metabolitos, como a aflatoxina, uma importante micotoxina e nematicida (LIU et al., 2020). Esses microrganismos conseguem causar a morte de formigas cortadeiras e inibir o crescimento do seu fungo simbionte *L. gongylophorus* (GOFFRÉ & FOLGARAIT, 2015; ROCHA et al., 2017; LONDOÑO et al., 2019).

Baseados na hipótese de que algumas bactérias e os fungos podem causar alterações nas formigas e no seu fungo simbionte, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de biopesticidas na atividade de forrageio e comportamento de locomoção da formiga cortadeira *A. aspersus* em plantios de *P. patula* na Colômbia.

MATERIAL E METODOS

Área de estudo

Os ensaios foram realizados em plantios de *P. patula* com quatro anos de idade no município de Angostura, Antioquia, Colômbia (75°22'58,072"W - 6°53'18,412"N e 75°22'48,374"W - 6°53'6,009"N; Figura 1) entre 2201 e 2250 m de altitude. A temperatura média é de 12°C, a umidade relativa de 82%, a precipitação de 3600 mm com 2555 horas luz no ano. As árvores foram produzidas a partir de sementes e plantadas em espaçamento de 3 × 3 m e com 1111 árvores/ha. Formigueiros de *A. aspersus* foram localizados nos plantios de *P. patula* (Figura 1) a partir da presença de formigas ou de montes cobertos por uma camada de palha na superfície.

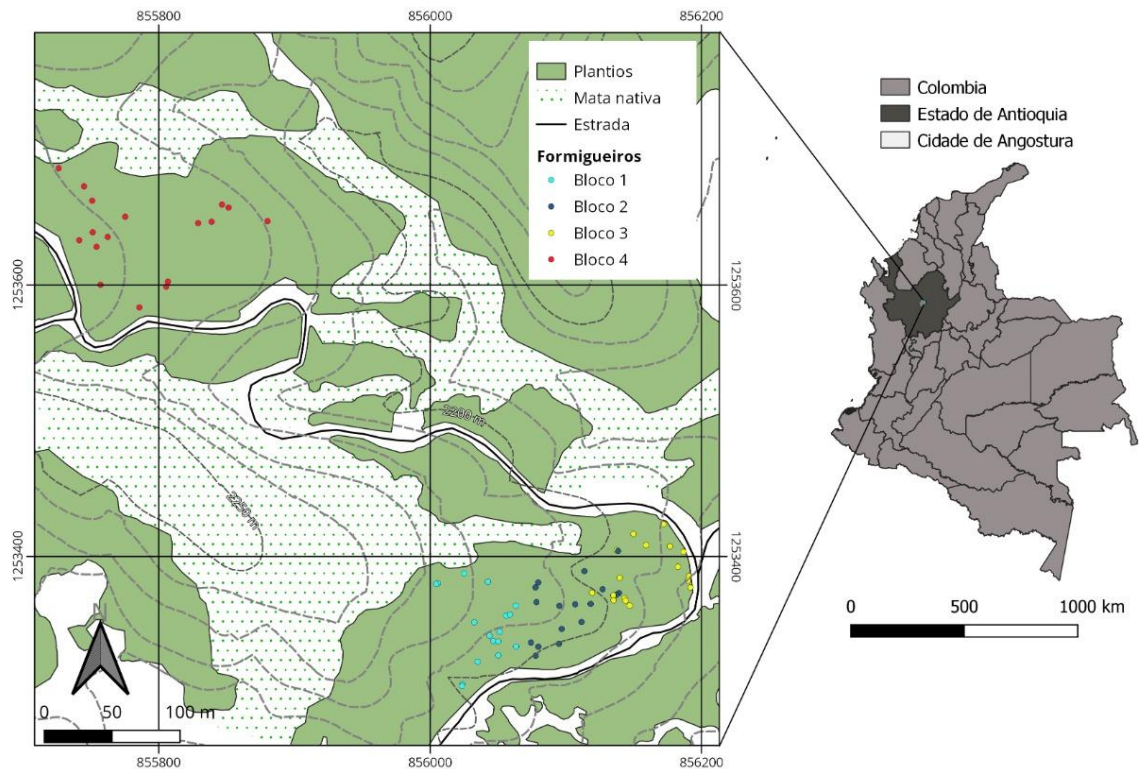


Figura 1. Mapa de localização dos ninhos de *Acromyrmex aspersus* F. Smith (Hymenoptera: Formicidae).

Aplicação dos biopesticidas

Três biopesticidas de categoria toxicológica IV e um de categoria III foram usados: *Bacillus subtilis* (Rizobacillus S®, 1×10^{11} UFC L⁻¹ de ingrediente ativo (i.a.), Ecosphaira, Envigado, Colômbia), *Trichoderma harzianum* (Rizoderma S®, 1×10^{11} conídios L⁻¹ de i.a., Ecosphaira, Envigado, Colômbia), *Purpureocillum lilacinum* (Rizocinus S®, 1×10^{11} conídios L⁻¹ de i.a., Ecosphaira, Envigado Colômbia) e *Bacillus pumillus* (Sonata SC®, $1,0E+09$ UFC g⁻¹ de i.a., Bayer S.A., Bogotá, Colômbia), respectivamente. Quatro doses (5, 10, 15 e 20 cm³ de produto comercial), por biopesticida, diluídas em 1 L de água foram preparadas e água pura foi usada no controle. A seguir, um volume de 1 L de cada dose por biopesticida foi aplicado na entrada de um ninho ativo (com atividade de forrageamento de *A. aspersus*), tentando atingir o interior do formigueiro, usando um pulverizador manual (RoyalCondor®, modelo CO-004, Soacha, Colômbia). Foram utilizados um total de 46 formigueiros divididos em 4 blocos com 17 formigueiros com todos os tratamentos cada (4 produtos, 4 doses e o

controle, Figura 1), com a finalidade de diminuir os efeitos externos como temperatura, umidade, tipo de solo que não podem ser controlados em campo.

Forrageamento

O forrageamento de *A. aspersus* foi avaliado pela contagem de formigas operárias (com carga de alimento ou não) que transitaram na trilha entre a fonte de alimento e o formigueiro, registradas em vídeos de 30 segundos de duração, feitos com uma câmera fotográfica (Nikon D5600). O número de operárias foi contabilizado após aplicação dos tratamentos, uma vez por semana, por 15 dias.

Teste de locomoção

O comportamento de locomoção das operárias dos ninhos com aplicação das doses dos biopesticidas foi analisado. O teste foi realizado em placas Petri (2 × 9 cm) usadas como arena, onde foram localizadas 10 formigas operárias, previamente expostas a cada doses dos produtos, com um total de 20 repetições por tratamento, além do controle. A atividade locomotora foi gravada com câmera fotográfica (Nikon D5600) com vídeos de 10 minutos a 24 fotogramas por segundo com alta definição (1920 × 1080 pixels). Os parâmetros de locomoção como distância percorrida (cm), tempo parado (s), e “meandering” ($^{\circ}\text{cm}^{-1}$) (definido como a soma absoluta dos ângulos de azimute dividido pelos dos raios do movimento) foram analisados com o software Ethoflow® (Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI, Brasil, BR 512020 000737-6; BERNARDES et al., 2021).

Análise estatística

Os dados de forrageamento e locomoção (distância percorrida, tempo parado e meandering) foram submetidos à análise de variância unidirecional (ANOVA) e as médias comparadas post-hoc com o teste de diferença honestamente significativa (HSD) de Tukey ($P < 0,05$).

RESULTADOS

Forrageamento

O número de formigas sem carga diferiu entre tratamentos ($F_{4,60} = 7,519$, $P < 0,0001$), com maior valor no controle ($20,5 \pm 4,69$ formigas sem carga) (Fig. 2A). O número de formigas carregadas também diferiu entre tratamentos ($F_{4,60} = 6,086$, $P = 0,0004$), com maior valor com as doses de 10, 15 e 20 cm^3 de *P. lilacinum* ($18,75 \pm 21,19$, $9,25 \pm 9,64$ e $17,25 \pm 11,87$ formigas com carga) (Fig. 2B).

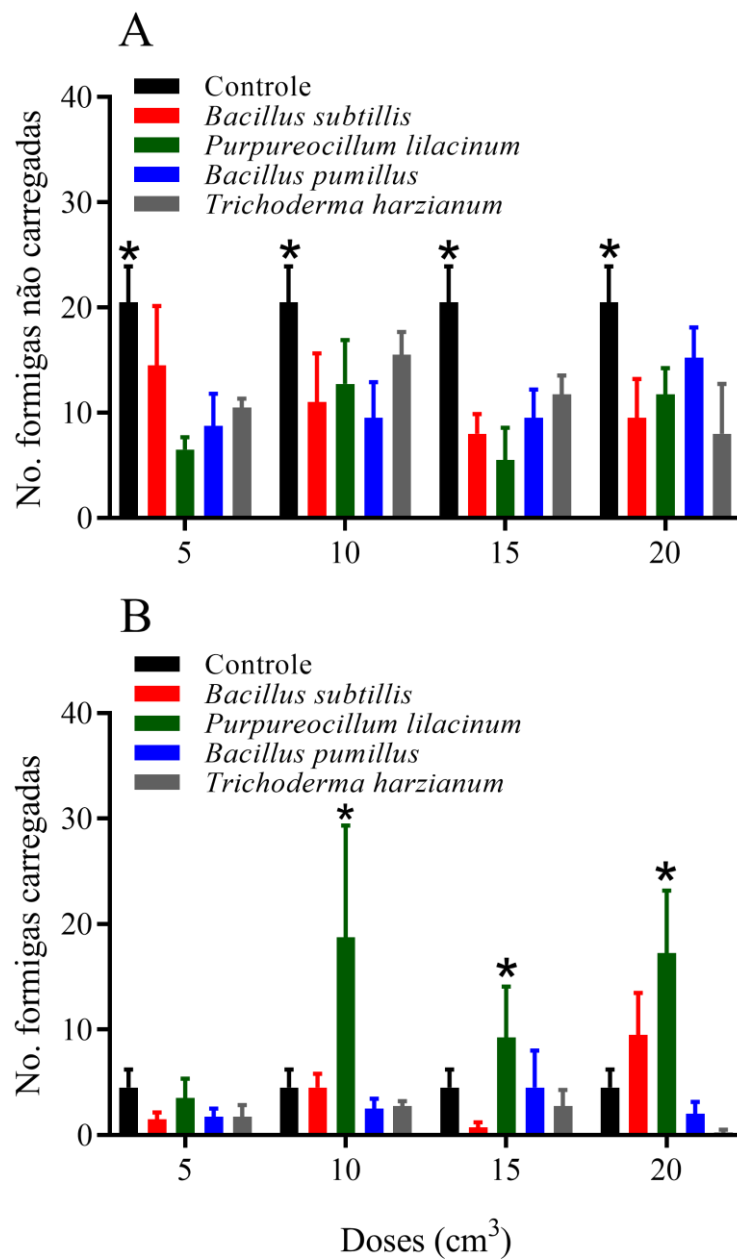


Figura 2. Forrageamento de formigas *Acromyrmex aspersus* (Hymenoptera: Formicidae) após exposição aos tratamentos. Número de formigas sem carga (A) e com carga (B). Barras com * diferem pelo teste de separação de médias de Tukey ($P < 0,05$).

Teste de locomoção

A distância percorrida por operárias de *A. aspersus* diferiu após exposição às doses de *B. subtilis* ($F_{4,19} = 35,97$, $P < 0,0001$) (Fig. 3A). A distância percorrida das formigas operárias tratadas com *P. lilacinum*, diferiu ($F_{4,19} = 20,88$, $P < 0,0001$) sendo maior na dose de 20 cm^3 ($3285,81 \pm 274,98 \text{ cm}$) que no controle ($1483,92 \pm 54,07 \text{ cm}$) (Fig. 3B). A distância percorrida pelas formigas operárias diferiu entre as doses de *B. pumillus* ($F_{4,19} = 6,93$, $P < 0,0001$) com maior valor nas de 10 e 15 cm^3 ($1974,97 \pm 115,02$ e $1953,74 \pm 88,36 \text{ cm}$, respectivamente), seguido das de 5 e 20 cm^3 ($1600,73 \pm 145,77$ e $1612,72 \pm 52,09 \text{ cm}$, respectivamente) que no controle ($1546,19 \pm 54,93 \text{ cm}$) (Fig. 3C). A distância percorrida pelas formigas operárias após exposição a *T. harzianum* diferiu ($F_{4,19} = 37,95$, $P < 0,0001$), sendo maior na dose de 20 cm^3 ($2755,40 \pm 63,18 \text{ cm}$), seguido pelas de 5 e 10 cm^3 ($1725,38 \pm 90,82$ e $1787,58 \pm 93,18 \text{ cm}$) e o controle ($1567,19 \pm 60,38 \text{ cm}$) (Fig. 3D).

O comportamento de meandering diferiu após exposição às doses de *B. subtilis* ($F_{4,19} = 32,38$, $P < 0,0001$), sendo maior no controle ($810,28 \pm 21,39 \text{ }^\circ\text{cm}^{-1}$) que com as doses de 10 e 15 cm^3 ($484,10 \pm 13,41$ e $509,88 \pm 26,51 \text{ }^\circ\text{cm}^{-1}$, respectivamente) (Fig. 5A). O meandering, com *P. lilacinum*, diferiu ($F_{4,19} = 15,15$, $P < 0,0001$), maior nas doses de 5 e 15 cm^3 ($689,06 \pm 44,21$ e $726,74 \pm 45,05 \text{ }^\circ\text{cm}^{-1}$, respectivamente) e no controle ($781,82 \pm 20,79 \text{ }^\circ\text{cm}^{-1}$) e menor na de 20 cm^3 ($458,79 \pm 31,79 \text{ }^\circ\text{cm}^{-1}$) (Fig. 5B). O comportamento de meandering das formigas diferiu quando expostas a *B. pumillus* ($F_{4,19} = 18,19$, $P < 0,0001$) com maior valor no controle e nas doses de 5 e 20 cm^3 ($714,79 \pm 30,48$, $691,64 \pm 33,79$ e $617,04 \pm 30,87 \text{ }^\circ\text{cm}^{-1}$, respectivamente) que na de 10 cm^3 ($691,64 \pm 33,79 \text{ }^\circ\text{cm}^{-1}$) (Fig. 5C). Diferenças no meandering das formigas operárias foi induzido pelo *T. harzianum* ($F_{4,19} = 4,27$, $P < 0,0001$) sendo maior nas doses de 5 e 10 cm^3 e no controle ($787,46 \pm 19,69$, $721,12 \pm 35,26$ e $682,55 \pm 26,04 \text{ }^\circ\text{cm}^{-1}$, respectivamente) que nas de 15 e 20 cm^3 ($551,99 \pm 63,41$ e $606,72 \pm 44,73 \text{ }^\circ\text{cm}^{-1}$, respectivamente) (Fig. 5D).

O tempo parado das operárias de *A. aspersus* foi maior quando expostas ao *B. subtilis* ($F_{4,19} = 11,68$, $P < 0,0001$) na dose de 20 cm^3 ($150,68 \pm 28,25 \text{ s}$) que no controle ($48,47 \pm 2,17 \text{ s}$) (Fig. 4A). O tempo parado das formigas operárias foi maior na dose de 10 cm^3 com *P. lilacinum* ($F_{4,19} = 26,53$, $P < 0,0001$) ($78,84 \pm 5,88 \text{ s}$) que no controle ($53,78 \pm 3,22 \text{ s}$) (Fig.

4B). O tempo parado das formigas operárias com *B. pumillus* diferiu ($F_{4,19}= 15,72$, $P < 0,0001$) sendo maior na sua dose de 10 cm^3 ($45,09 \pm 1,62$ s) que no controle ($39,61 \pm 5,90$ s) (Fig. 4C). O tempo parado das formigas operárias diferiu após exposição ao *T. harzianum* ($F_{4,19}= 15,20$, $P < 0,0001$) sendo maior na dose de 20 cm^3 ($70,38 \pm 4,57$ s) que no controle ($48,47 \pm 2,17$ s) (Fig. 4D).

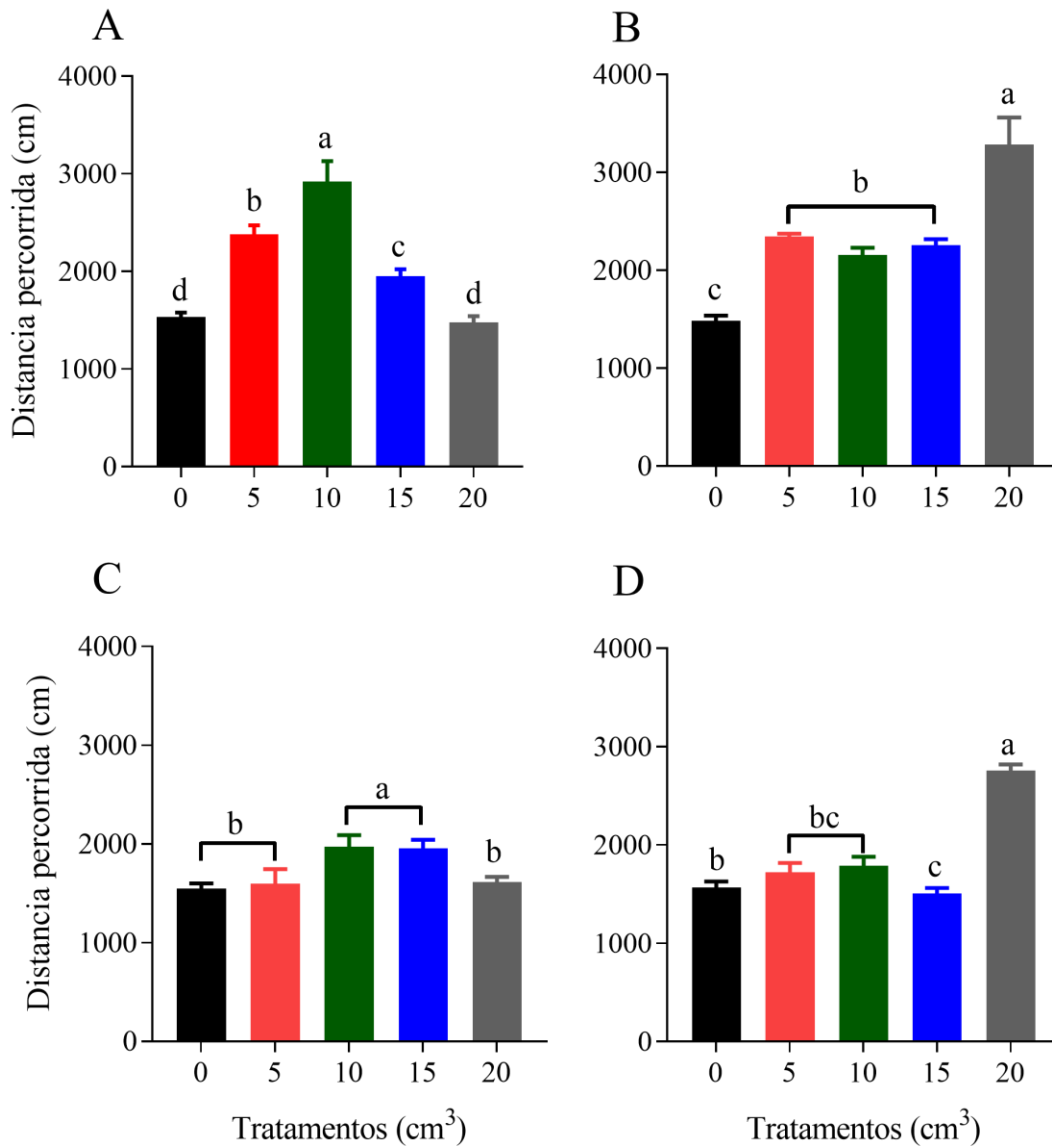


Figura 3. Distância percorrida (média \pm erro padrão) por *Acromyrmex aspersus* (Hymenoptera: Formicidae) após exposição aos diferentes microrganismos e doses, durante 10 minutos de avaliação. *Bacillus subtilis* (A), *Purpureocillium lilacinum* (B), *Bacillus pumillus* (C) e *Trichoderma harzianum* (D). Barras com mesma letra, por figura, não diferem pelo teste de separação de médias de Tukey ($P < 0,05$).

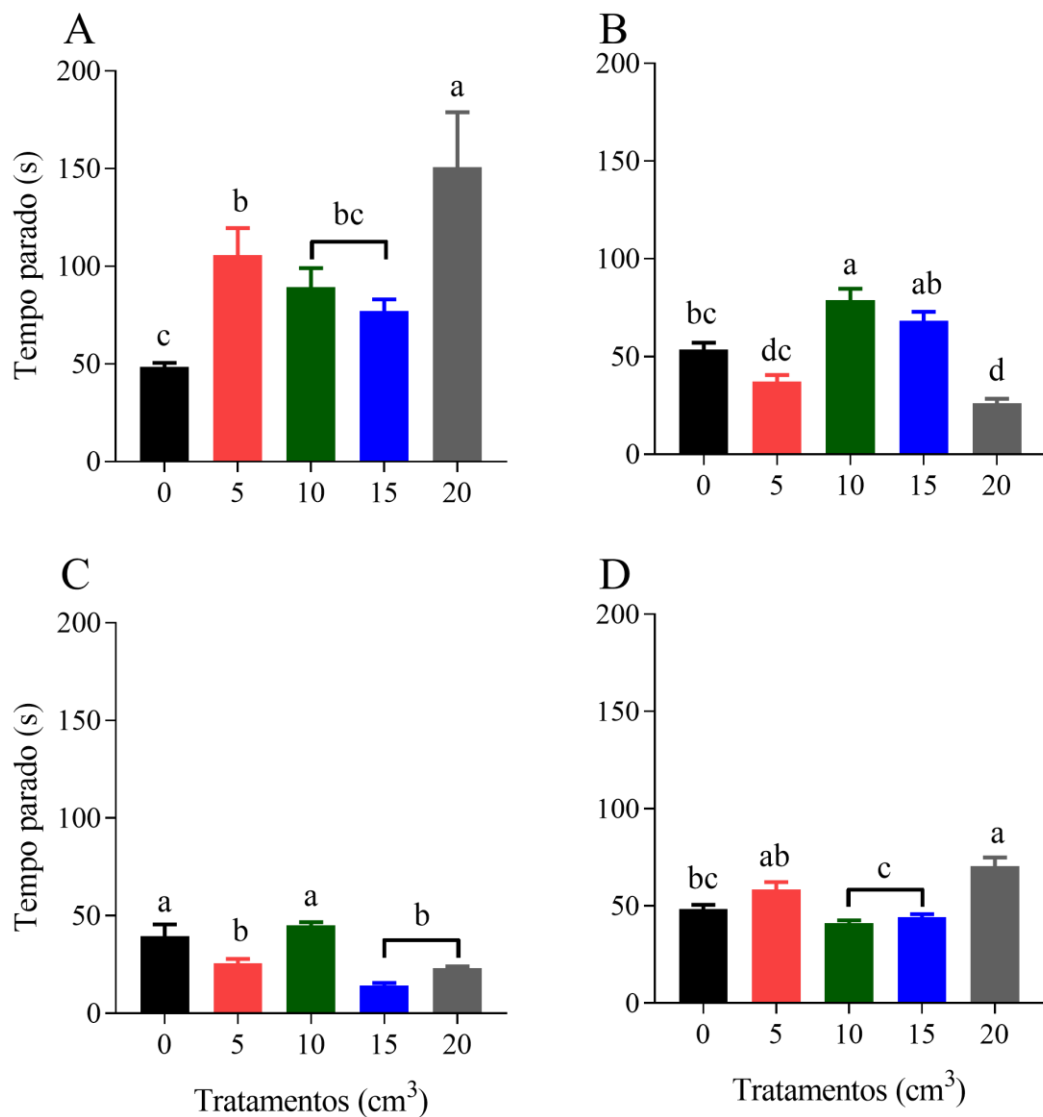


Figura 4. Tempo parado (média ± erro padrão) por *Acromyrmex aspersus* (Hymenoptera: Formicidae) após exposição aos diferentes microrganismos e doses, durante 10 minutos de avaliação. *Bacillus subtilis* (A). *Purpureocillum lilacinum* (B). *Bacillus pumillus* (C). *Trichoderma harzianum* (D). Barras com mesma letra, por figura, não diferem pelo teste de separação de médias de Tukey ($P < 0,05$).

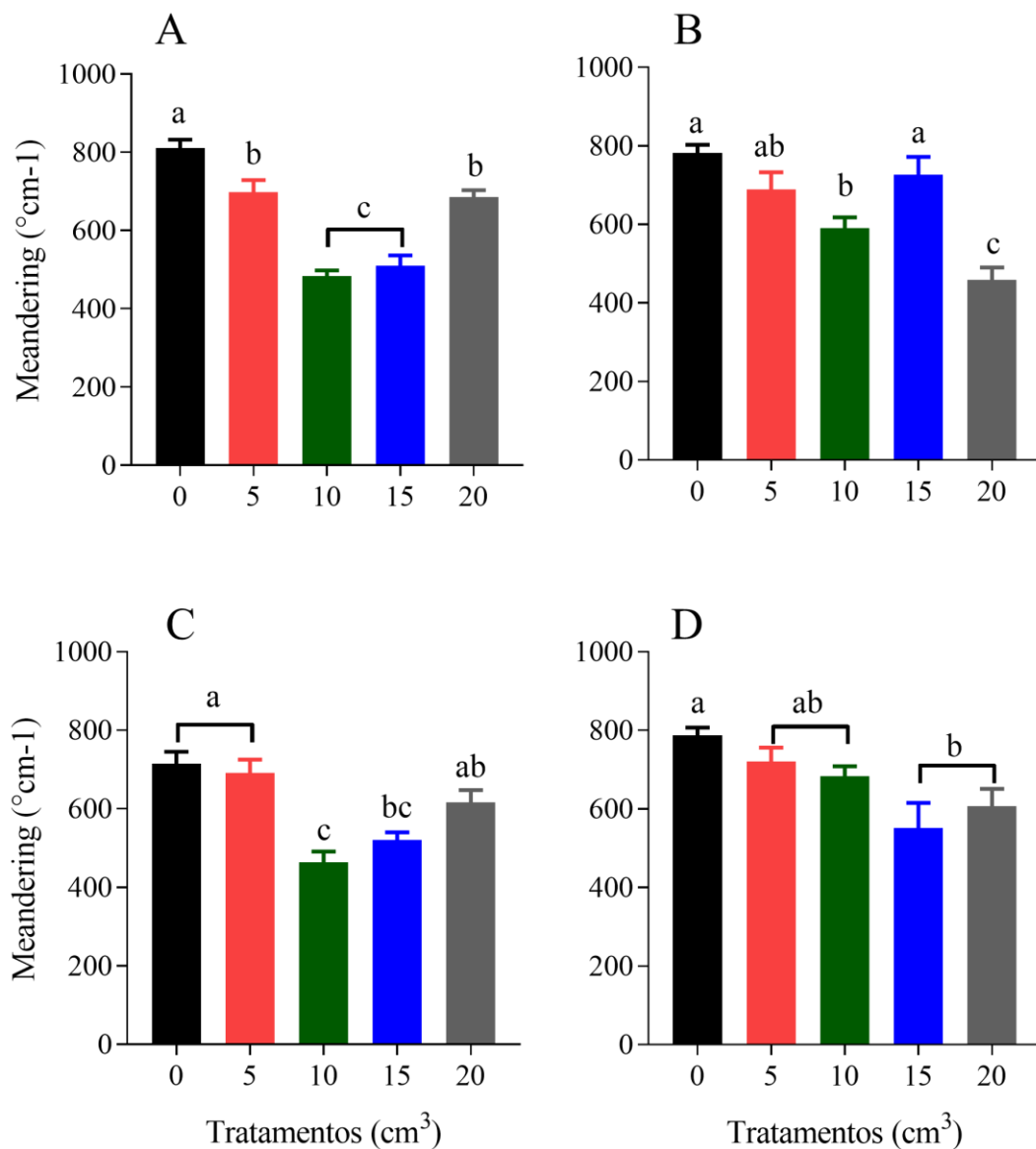


Figura 5. Comportamento de meandering (média \pm erro padrão) por *Acromyrmex aspersus* Hymenoptera: Formicidae) após exposição aos diferentes microrganismos e doses, durante 10 minutos de avaliação. *Bacillus subtilis* (A), *Purpureocillium lilacinum* (B), *Bacillus pumillus* (C) e *Trichoderma harzianum* (D). Barras com mesma letra, por figura, não diferem pelo teste de separação de médias de Tukey ($P < 0,05$).

DISCUSSÃO

Nas condições de campo, o número de formigas carregadas chegando ao formigueiro é indicador do padrão de atividade de forrageio (DEFAGÓ et al., 2017), mas formigas não carregadas podem, também, indicar a atividade do formigueiro (NICKELE et al., 2016). O número de formigas em atividade varia com fatores abióticos como chuva, umidade e temperatura (CALHEIROS et al., 2019) e a duração do uso da trilha a fatores bióticos como o tamanho da colônia, o tipo de alimento e uso do feromônio de trilha (BOUCHEBTI et al., 2019).

O maior número de formigas sem carga que com carga voltando ao formigueiro no tratamento controle se devem ao cumprimento de outras funções como explorar, limpar a trilha, transportar seiva vegetal e reforçar os sinais químicos nas trilhas (NICKELE et al., 2016). A menor atividade de formigas, nos formigueiros tratados (exceto com *P. lilacinum*) pode indicar detecção desse material reduzindo a sanidade do fungo e a decisão de não introduzir material novo que seja inapropriado (DEFAGÓ et al., 2017).

A maior atividade de forrageio, nos formigueiros tratados com *P. lilacinum*, que nos demais tratamentos, pode ser devido à alta capacidade de infecção das formigas e atividade contra esse fungo (GOFFRÉ & FOLGARAIT, 2015). Isto poderia indicar que as formigas não perceberam esse fungo como tóxico (CARDOSO et al., 2012) e continuam sua atividade normal de forrageio.

A menor atividade nos formigueiros tratados com os produtos *B. subtilis*, *B. pumillus* e *T. harzianum* poderia ser devido às operárias tentando removê-los (MIGHELL & VAN BAEL, 2016). Enzimas dos fungos *Trichoderma* degradam as paredes celulares do hospedeiro permitindo o acesso ao citoplasma e extraíndo nutrientes para seu desenvolvimento (DAZA et al., 2019). As bactérias antagonistas *B. subtilis* e *B. pumillus* secretam inibidores de crescimento bacteriano e fúngico com papel importante nas interações e competição microbiana (TOLEDO et al., 2015). O modo de ação destes produtos poderia ter ativado as defesas das formigas contra microrganismos dentro do formigueiro como o uso de substâncias antifúngicas e antibióticos genéricos e específicos produzidos por bactérias filamentosas (actinomicetes) secretados pela glândula metapleurale da formiga *A. aspersus* (FORTI et al., 2020) e a remoção de indivíduos afetados e mortos do formigueiro (GOFFRÉ & FOLGARAIT, 2015), diminuindo assim a atividade fora do ninho.

Os biopesticidas causaram efeito subletal em *A. aspersus*, com algumas alterações no comportamento dessa formiga no momento que é detectado (FIAZ et al., 2019). Mudanças no

comportamento de insetos sociais podem desestabilizar a coesão da colônia, e ajudar no controle das mesmas (SILVA et al., 2019). O aumento ou redução na atividade locomotora dos insetos ocorre como resultado da ação tóxica dos compostos no sistema nervoso (PLATA-RUEDA et al., 2019).

A maior distância percorrida por *A. aspersus* em, pelo menos, uma dose por tratamento que no controle e, em geral, com um aumento na atividade locomotora em formigas indica comportamento de escape (MANNINO et al., 2018), explicado por um efeito repelente dos compostos após a aplicação (MELO et al., 2021). Os tratamentos com *B. pumillus* e *P. lilacinum* aumentaram a distância percorrida e diminuíram o tempo parado das formigas, indicando um comportamento locomotor de hiperatividade (PLATA-RUEDA et al., 2020). O maior tempo parado e a menor atividade locomotora das formigas tratadas com *B. subtilis* e *T. harzianum* é um comportamento de proteção por diminuir o metabolismo e a frequência respiratória, mas podendo aumentar a vulnerabilidade à predação (FIAZ et al., 2021).

O menor comportamento de meandering em todos os tratamentos que no controle indica que as formigas se movimentam de um jeito mais linear e diminuem a busca local, indicando a necessidade de abandonar o lugar, ou seja, um comportamento de escape (GRETTEMBERGER & JOSEPH, 2019). Este comportamento reduz a movimentação durante a atividade de forrageio (BRITO et al., 2020).

CONCLUSÃO

Os produtos biológicos *Bacillus pumillus*, *Bacillus subtilis*, *Purpureocillum lilacinum* e *Trichoderma harzianum* mudaram a distância percorrida, tempo parado e meandering da formiga *A. aspersus* durante o forrageio. A diminuição, considerável, em campo, da atividade de forrageio, indica efeitos dentro do formigueiro que devem ser avaliados em outros ensaios. Os produtos causaram comportamento de escape com hiperatividade nas formigas de ninhos tratados com *B. pumillus* e *P. lilacinum* e de proteção naquelas de ninhos tratados com *B. subtilis* e *T. harzianum*.

REFERENCIAS

AMARAL, K. D., GANDRA, L. C., DE OLIVEIRA, M. A., DE SOUZA, D. J., DELLA LUCIA, T. M. Effect of azadirachtin on mortality and immune response of leaf-cutting ants. **Ecotoxicology**, v. 28, n. 10, p. 1190-1197, 2019.

BERNARDES, R. C., LIMA, M. A. P., GUEDES, R. N. C., da SILVA, C. B., MARTINS, G. F. Ethoflow: computer vision and artificial intelligence-based software for automatic behavior analysis. **Sensors**, v. 21, n. 9, p. 3237, 2021.

BOUCHEBTI, S., TRAVAGLINI, R. V., FORTI, L. C., FOURCASSIÉ, V. Dynamics of physical trail construction and of trail usage in the leaf-cutting ant *Atta laevigata*. **Ethology Ecology & Evolution**, v. 31, n. 2, p. 105-120, 2019.

BRITO, F. A., BACCI, L., SANTANA, A., SILVA, J. E., NIZIO, D. A., NOGUEIRA, P. C., ARRIGONI-BLANK, M. F., MELO, C. R., MELO, J. O., BLANK, A. F. Toxicity and behavioral alterations caused by essential oils of *Croton tetradenius* and their major compounds on *Acromyrmex balzani*. **Crop Protection**, v. 137, n. 105259, 2020.

CALHEIROS, A. C., RONQUE, M. U., SOARES JR, H., OLIVEIRA, P. S. Foraging Ecology of the Leaf-Cutter Ant, *Acromyrmex subterraneus* (Hymenoptera: Formicidae), in a Neotropical Cerrado Savanna. **Environmental Entomology**, v. 48, n. 6, p. 1434-1441, 2019.

CARDOSO, S. R. S., NAGAMOTO, N. S., FORTI, L. C., SOUZA, E. S. Carrying and effect of granulated baits formulated with entomopathogenic fungi among *Atta sexdens rubropilosa* colonies (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, v. 59, n. 3, p. 681-689, 2012.

CATALANI, G. C., SOUSA, K. K., DA CAMARGO, R. S., CALDATO, N., MATOS, C. A., FORTI, L. C. Chemical control of leaf-cutting ants: how do workers disperse toxic bait fragments onto fungus garden? **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 63, n. 4, p. 290-295, 2019.

DAZA, F. F. F, ROMAN, G. R., RODRIGUEZ, M. V., VARGAS, I. A. G, HEANO, H. C, CEREDA, M. P., & MULET, R. A. C. Spores of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma lignorum* as a bioinsecticide for the control of *Atta cephalotes*. **Biological Research**, v. 52, n. 51, p. 1-8, 2019.

DEFAGÓ, M. T., NOLLI, L., NAPAL, G. D., PALACIOS, S. M., BUFFA, L. M. Can the extract of *Aristolochia argentina* Griseb affect the foraging decisions of the leaf cutting ant *Acromyrmex lundii* (Guérin)? Preliminary assays. **International Journal of Pest Management**, v. 63, n. 3, p. 207-212, 2017.

FERNÁNDEZ, F., HUERTAS, A. V. C., SERNA-CARDONA, F. J. Hormigas cortadoras de hojas de Colombia: *Acromyrmex* & *Atta* (Hymenoptera: Formicidae). Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales, p. 352 2015.

FIAZ, M., MARTÍNEZ, L. C., PLATA-RUEDA, A., COSSOLIN, J. F. S., SERRA, R. S., MARTINS, G. F. SERRÃO, J. E. Behavioral and ultrastructural effects of novaluron on *Aedes aegypti* larvae. **Infection, Genetics and Evolution**, v. 93, n. 104974, 2021.

FIAZ, M., MARTÍNEZ, L. C., PLATA-RUEDA, A., GONÇALVES, W. G., de SOUZA, D. L. L., COSSOLIN, J. F. S., CARVALHO, P. E. G. R., MARTINS, G. F. SERRÃO, J. E. Pyriproxyfen, a juvenile hormone analog, damages midgut cells and interferes with behaviors of *Aedes aegypti* larvae. **PeerJ**, v. 7, n. e7489, 2019.

FORTI, L. C., AANDRADE, A. P. P., SOUSA, K. K. A., CAMARGO, R. S., MATOS, C. A. O., CALDATO, N., CATALANI, G. C. RAMOS, V. M. Do workers from subspecies *Acromyrmex subterraneus* prepare leaves and toxic baits in similar ways for their fungus garden? **Neotropical Entomology**, v. 49, n. 1, p. 12-23, 2020.

FORTI, L. C., MOREIRA, A. A., ANDRADE, A. P., CASTELLANI, M. A., CALDATO, N. Nidificação e arquitetura de ninhos de formigas-cortadeiras. Della Lucia, TMC Formigas-Cortadeiras da Bioecologia ao Manejo. Viçosa: Ed. UFV, p. 102-125, 2011.

FSC. FSC Lists of highly hazardous pesticides. FSC-POL-30-001a EN, 2019a.

FSC. List of approved derogations for use of ‘highly hazardous’ pesticides. FSC PRO-30-001a EN, 2019b.

GOFFRÉ, D., FOLGARAIT, P. J. *Purpureocillium lilacinum*, potential agent for biological control of the leaf-cutting ant *Acromyrmex lundii*. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 130, n. 1, p. 107-115, 2015.

GRETTEMBERGER, I. M., JOSEPH, S. V. Influence of starvation on walking behavior of *Bagrada hilaris* (Hemiptera: Pentatomidae). **PLoS ONE**, v. 14, n. 4, p. e0215446, 2019.

LEMES, P. G., ZANUNCIO, J. C., SERRÃO, J. E., LAWSON, S. A. Forest Stewardship Council (FSC) pesticide policy and integrated pest management in certified tropical plantations. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 2, p. 1283-1295, 2017.

LIU, R., KHAN, R. A. A., YUE, Q., JIAO, Y., YANG, Y., LI, Y., XIE, B. Discovery of a new antifungal lipopeptaibol from *Purpureocillium lilacinum* using MALDI-TOF-IMS. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 527, n. 3, p. 689-695, 2020.

LOBO-ECHEVERRY, T., GALINDO, V. M., AUBAD, P., ORTIZ-REYES, A., PRECIADO, L. M., SÁNCHEZ, M., JIMÉNEZ, J., THOMAS, O. P. Inhibition of *Leucoagaricus gongylophorus* with *Carica papaya*: an alternative to control the leaf-cutter ant *Acromyrmex octospinosus*. **International Journal of Pest Management**, v. 66, n. 3, p. 201-214, 2020.

LONDOÑO, M. U., ROMERO-TABAREZ, REYES, A. O. Bacterial extracts for the control of *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) and its symbiotic fungus *Leucoagaricus gongylophorus* (Agaricales: Agaricaceae). **Revista de Biología Tropical**, v. 67, n. 4, p. 1010-1022, 2019.

MANNINO, G., ABDI, G., MAFFEI, M. E., BARBERO, F. *Origanum vulgare* terpenoids modulate *Myrmica scabrinodis* brain biogenic amines and ant behaviour. **PLoS ONE**, v. 13, n. 12, p. e0209047, 2018.

MEJIA, S. Y. M., RODRIGUEZ, J., MONTOYA-LERMA, J. *Euphorbia cotinifolia* (Euphorbiaceae): a promising alternative for leaf cutting ant *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae) control. **Biocontrol Science and Technology**, v. 28, n. 5, p. 486-495, 2018.

MELO, C. R., BLANK, A. F., OLIVEIRA, B. M. S., SANTOS, A. C. C., CRISTALDO, P. F., ARAÚJO, A. P. A., BACCI, L. Formicidal activity of essential oils of *Myrcia lundiana* chemotypes on *Acromyrmex balzani*. **Crop Protection**, v. 139, n. 105343, 2021.

MERLE, C., LOPEZ, O. Núcleo forestal Cauca (Meseta de Popayán). Plan de acción. Disponivel em: <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/forestal/Planes%20de%20Acci%C3%B3n/Plan%20de%20Accion%20Nucleo%20Forestal%20Cauca%20VF.pdf>. Acceso em: 23 sep. 2021, 2018.

MIGHELL, K., VAN BAEL, S. A. (2016). Selective elimination of microfungi in leaf-cutting ant gardens. **Fungal Ecology**, v. 24, n. A, p. 15-20, 2016.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (MADR). Boletín Estadístico Forestal. Bogotá. Disponivel em: <https://www.forestalmaderero.com/wp-content/uploads/2021/04/3-BOLETIN-ESTADISTICO-FORESTAL-MARZO2021-comprimido.pdf>. Acceso em: 24 jun. 2021, 2021.

NICKELE, M. A., REIS FILHO, W., PENTEADO, S. D. R., DE QUEIROZ, E. C., SCHAITZA, E. G., PIE, M. R. Potential damage by *Acromyrmex* ant species in pine plantations in southern Brazil. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 63, n. 1, p. 645-650, 2020.

NICKELE, M. A., REIS FILHO, W., PIE, M. R., PENTEADO, S. D. R. C. Daily foraging activity of *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae) leaf-cutting ants. **Sociobiology**, v. 63, n. 1, p. 645-650, 2016.

PENAGOS, C. M. O., RESTREPO, R. J. H., RINCON, E. A., OCAMPO, F. A. S., MESA, J. B. U., PELAEZ, C. A. R., CARDONA, C. A. R., HERRERA, N. M. R. Título: Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana; el Pino Patula. Cenicafé, p. 104, 2011.

PLATA-RUEDA, A., MARTÍNEZ, L. C., SILVA, B. K. R., ZANUNCIO, J. C., FERNANDES, M. E. D. S., GUEDES, R. N. C., FERNANDES, F. L. Exposure to cyantraniliprole causes mortality and disturbs behavioral and respiratory responses in the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). **Pest Management Science**, v. 75, n. 8, p. 2236-2241, 2019.

PLATA-RUEDA, A., MENEZES, C. H. M., CUNHA, W., ALVARENGA, T. M., BARBOSA, B. F., ZANUNCIO, J. C., MARTÍNEZ, L. C., SERRÃO, J. E. Side-effects caused by chlorpyrifos in the velvetbean caterpillar *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemosphere**, v. 259, n. 127530, 2020.

ROCHA, S. L., EVANS, H. C., JORGE, V. L., CARDOSO, L. A., PEREIRA, F. S., ROCHA, F. B., BARRETO, R. W., HART, A. G., ELLIOT, S. L. Recognition of endophytic *Trichoderma* species by leaf-cutting ants and their potential in a Trojan-horse management strategy. **Royal Society Open Science**, v. 4, n. 160628, 2017.

SILVA, D. C., ARRIGONI-BLANK, M., BACCI, L., BLANK, A. F., FARO, R. R. N., PINTO, J. A. O., PEREIRA, K. L. G. Toxicity and behavioral alterations of essential oils of *Eplingiella fruticosa* genotypes and their major compounds to *Acromyrmex balzani*. **Crop Protection**, v. 116, n. 1, p. 181-187, 2019.

TOLEDO, A. V., LÓPEZ, S. M. Y., AULICINO, M., REMES LENICOV, A. M. D., BALATTI, P. A. Antagonism of entomopathogenic fungi by *Bacillus* spp. associated with the integument of cicadellids and delphacids. **International Microbiology**, v. 18, n. 2, p. 91-97, 2015.