

Potencial de hormigas como depredadoras de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en Costa Rica

Edgar H. Varón¹
Paul Hanson²
Olger Borbón³
Manuel Carballo⁴
Luko Hilje⁴

RESUMEN. En Mesoamérica y el Caribe es común la presencia de árboles de sombra en los sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*). Estos sistemas pueden albergar altos niveles de biodiversidad de insectos, incluyendo hormigas, que podrían actuar como depredadores de plagas claves en dichos sistemas, como la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Por tanto, en Heredia, Costa Rica, mediante pruebas de escogencia en el laboratorio y el campo, se determinó el potencial de depredación de varias especies selectas (*Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii* y *Crematogaster torosa*) sobre varios estadios de la broca. En condiciones de laboratorio, las tres especies causaron depredación en al menos un estadio de *H. hampei*, a veces con niveles de hasta 100%. No obstante, esto no ocurrió en el campo, quizás debido a que, por sus hábitos alimentarios generalistas, las hormigas no fueron atraídas por los granos infestados con broca.

Palabras clave: café, Costa Rica, *Crematogaster torosa*, *Pheidole radoszkowskii*, *Solenopsis geminata*, sombra.

ABSTRACT. Potential of ant predation on the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Costa Rica. In Mesoamerica and the Caribbean, shading trees within coffee agroforestry systems (*Coffea arabica*) are a fairly common occurrence. It has been shown that these systems can contain high levels of insect biodiversity, including ants that could act as predators of key pests of coffee, such as the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Therefore, in Heredia, Costa Rica, through laboratory and field tests, the predation potential of selected ant species (*Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii* and *Crematogaster torosa*) on several coffee berry borer developmental stages was determined. Under laboratory conditions, all ant species caused predation to at least one stage of *H. hampei*, sometimes up to levels of 100%. However, this did not occur in the field, perhaps because ants were not attracted to borer-infested coffee beans, due to their generalist food habits.

Key words: Coffee, Costa Rica, *Crematogaster torosa*, *Pheidole radoszkowskii*, shade, *Solenopsis geminata*.

Introducción

En Mesoamérica y el Caribe es común la presencia de árboles de sombra en los sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica* L.), los cuales cumplen varias funciones agronómicas importantes (Beer *et al.* 1998) y pueden albergar una rica entomofauna, incluyendo hormigas (Perfecto y Snelling 1995, Perfecto *et al.* 1997, Barbera *et al.* 2002, 2004). Puesto que algunas de ellas depredan insectos (Vandermeer *et al.* 2002), podrían actuar como agentes de control biológico de plagas claves como la broca del café, *Hypothenemus*

hampei (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). Sin embargo, las referencias acerca de hormigas que depreden a *H. hampei* son más bien anecdóticas; por ejemplo, en Colombia se mencionan algunas especies de *Brachymyrmex*, *Crematogaster* y *Pheidole* (CENICAFE 1994), así como *Azteca* sp. en Ecuador (Sponagel 1994), mientras que se ha informado de *Crematogaster* sp. (Le Pelley 1968) y de *C. curvispinosa* en Brasil (Bennassi 1995), y de *Dolichoderus bituberculatus* en África (Leeffmans 1923).

¹ Estudiante de postgrado, Dept. of Plant, Soil and Entomological Sciences. University of Idaho, Moscow ID 83844-2339. **EUA.** evar8434@uidaho.edu

² Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, **Costa Rica.**

³ Centro de Investigaciones en Café (CICAFE), Heredia, **Costa Rica.**

⁴ Unidad de Fitoprotección, CATIE, Turrialba, **Costa Rica.** mcarball@catie.ac.cr

Aunque actualmente se dispone de buenos inventarios sobre comunidades de hormigas en cafetales del Valle Central y la vertiente Caribe de Costa Rica (Perfecto y Snelling 1995, Barbera *et al.* 2002, 2004), donde es clara la dominancia de unas pocas especies, como *Solenopsis geminata* y *Pheidole radoszkowskii*, se desconoce si ellas u otras especies sub-dominantes podrían depredar a *H. hampei*.

A diferencia del control biológico mediante parasitoides (Bustillo 1993, Infante *et al.* 1993), los cuales son más específicos y, por ende, mejores controladores biológicos, aunque con algunas dificultades logísticas para la crianza masiva, las hormigas son relativamente fáciles de criar, y para aquellas que depreden a *H. hampei* se podría recurrir a prácticas que permitan su conservación e incremento. Por ejemplo, el mejoramiento de sus condiciones de hábitat podría favorecer el aumento de sus poblaciones y su eficacia como agentes de control biológico, como se ha hecho para otras especies de hormigas en otros sistemas (Huang y Yang 1987, Perfecto y Castiñeiras 1998, Way *et al.* 1998).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de depredación sobre *H. hampei* de algunas especies selectas de hormigas, como paso previo a establecer recomendaciones acerca de su conservación o incremento.

Materiales y métodos

La investigación se efectuó en Heredia, Costa Rica, y constó de dos fases complementarias, una de laboratorio y otra de campo, en las que se evaluó la depredación de cinco especies de hormigas (*S. geminata*, *P. radoszkowskii*, *Crematogaster curvispinosa*, *Crematogaster torosa* y *Crematogaster crinosa*) sobre formas adultas e inmaduras de *H. hampei*. Las especies fueron identificadas por el especialista John Longino (The Evergreen State College, Olympia, Washington, EUA). La colección de referencia se encuentra en el Laboratorio de Entomología del CATIE.

El criterio para seleccionar las dos primeras especies fue su fuerte dominancia en las comunidades de hormigas en varias zonas de Costa Rica (Perfecto y Snelling 1995, Barbera 2002). De las especies de *Crematogaster*, se incluyó a *C. curvispinosa* por estar reportada en la literatura como depredadora de *H. hampei* (Benassi, 1995), pero esto se hizo solamente para los experimentos de laboratorio, ya que no apareció en el campo en la zona de estudio. En cambio, *C. torosa*

se incluyó por su alta abundancia en dicha zona (E. Varón, obs. pers.). En el caso de *C. crinosa*, se llevó para los experimentos de laboratorio desde Turrialba, donde es común en árboles de cedro (*Cedrela odorata* L.).

Los experimentos de laboratorio se realizaron en las instalaciones del CICAFFE (Centro de Investigaciones en Café), en el cantón de Barva, el cual está en la vertiente Pacífica, a 10°04'N, 84°07'O y 1180 msnm. Los valores anuales promedio de precipitación, temperatura y humedad relativa son de 2200 mm, 19,7 °C y 79%, respectivamente. En esta zona hay una estacionalidad marcada en la precipitación, y la estación seca comprende de diciembre a abril. Los experimentos de campo se efectuaron en un cafetal de 105 ha, en Barral de Heredia, situado a 9°58'N y 84°4'O, muy cerca de donde se reportó la presencia de la broca por primera vez en Costa Rica.

Laboratorio

Se utilizó un aparato de escogencia, en el cual la especie de hormiga evaluada podía elegir entre diferentes tipos de presas. Para todas las especies, excepto *S. geminata*, este consistió en una caja grande de acrílico, de 20 x 20 x 20 cm (cámara central), conectada mediante tubos de plástico transparente (de 70 cm de longitud y 8 mm de diámetro) con cámaras periféricas, que fueron recipientes cilíndricos plásticos más pequeños (5 cm de diámetro y 8,5 cm de altura; Fig. 1).

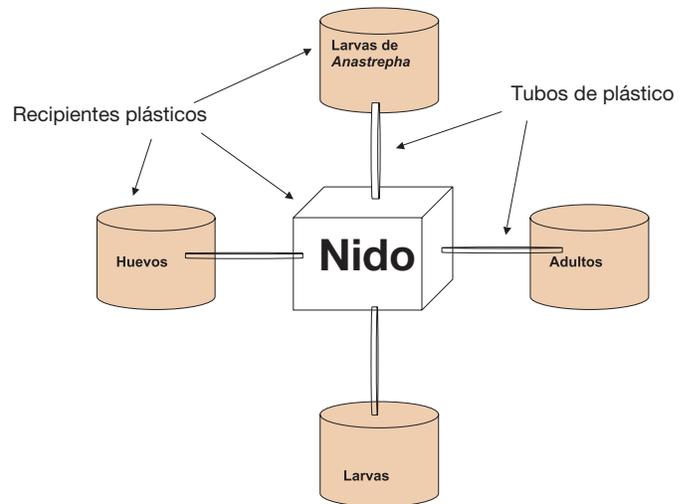


Figura 1. Aparato de escogencia, para medir la depredación sobre *Hypothenemus hampei* en el laboratorio.

Para *S. geminata*, debido al mayor tamaño de sus nidos, el aparato de escogencia consistió en una caja grande de acrílico (40 x 40 x 40 cm) (cámara central), conectada mediante tubos de plástico transparente (de 70 cm de longitud y 8 mm de diámetro) con cuatro cajas de acrílico más pequeñas (20 x 20 x 20 cm) (cámaras periféricas).

La cámara central se impregnó en la parte superior con una banda de 2 cm de ancho de pegamento Tanglefoot (The Tanglefoot Co., Michigan, EUA), para evitar el escape de las hormigas. Allí se colocó un nido de la especie de hormiga evaluada, lo más completo posible (con reinas, hembras vírgenes, machos y obreras), y se colocó aproximadamente un cuarto de onza de azúcar granulada y 10 mL de agua en el nido, diariamente.

En las cámaras periféricas se colocaron, individualmente, cada uno de los tipos de presas (tratamientos). Estas, según el caso, correspondieron a 10 larvas (I o II instar), pupas o adultos de *H. hampei*. En la cuarta caja se colocó el tratamiento testigo, que correspondió a 20 larvas de mosca de la fruta, *Anastrepha striata* (Diptera: Tephritidae), seleccionada por su abundancia en Turrialba (E. Varón, obs. pers.), y porque una especie de mosca de la fruta de la misma familia Tephritidae (*Ceratitis capitata*) fue reportada como depredada por *S. geminata* (Eskafi y Kolbe 1990).

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos (SAS Institute 1988). Cada experimento se repitió cuatro veces en cada nido y en cada repetición se aleatorizó la distribución de los tratamientos, considerándose dicha repetición como un bloque. La variable de respuesta fue el consumo de presas hasta las 48 h de exposición de las presas.

Campo

El manejo de la finca donde se realizó el experimento incluye una poda al año, la cual consiste en cortar una fila de arbustos a 70 cm, dejando otras dos filas libres y quitándole solamente las ramas improductivas. Además, se aplican herbicidas (paraquat y glifosato) y se fertiliza tres veces al año (marzo, agosto y diciembre). Asimismo, una vez al año se poda el poró.

Para realizar los experimentos fue necesario contar con granos infestados por *H. hampei*. Por tanto, se recolectaron granos de café maduro (de la variedad cultivada Caturra) en la finca Cabiria, en el CATIE,

en Turrialba, donde hay cosechas varias veces al año. Los granos se secaron a la sombra durante una semana. Después se remojaron por 5 min en una solución desinfectante, con 1 g de acaricida (propargite) y 1 g de fungicida (benomil) en 1 L de agua, y se dejaron secar por tres días.

Para la infestación de los granos se utilizaron cajas plásticas rectangulares, de 30 cm de longitud, en cuya tapa había orificios de 5 cm de diámetro, recubiertos con malla fina. Las bandejas se habían desinfectado con cloruro de benzoato al 3%. Cada grano se inoculó con dos hembras fértiles, las cuales también se desinfectaron, remojándolas en la solución antes descrita, y se secaron con un ventilador durante 10 min. Para evitar la aparición de mohos (*Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp.), los granos se desinfectaron 18 días después con una solución de 3 mL de carbendazim en 1 L de agua, durante 3 min.

El mismo día, los granos se colocaron en cajas de Petri, de las cuales unas permanecieron abiertas y otras tapadas. Para impedir que las hormigas penetraran y que los adultos de *H. hampei* escaparan, así como para permitir la aireación, en su parte superior las cajas se taparon con malla fina de 50 poros, Biorete 20/10 (Tessitura Giovanni Arrigoni S.A., Italia).

Para cada especie se utilizaron tres nidos individuales, para lo cual se localizaron y marcaron los nidos de *P. radoszkowskii* y *C. torosa* en una sección de la finca, sembrada a 1,7 x 1 m, con poró intercalado a 7 x 8 m. Los nidos de *S. geminata* estaban en otra sección, sembrada a 1,7 x 0,7 m, con eucalipto (*Eucalyptus deglupta*) intercalado a 14 x 16 m.

Se colocaron cuatro cajas de Petri a 30 cm alrededor del nido, según los puntos cardinales (Fig. 2). Por sorteo, a cada uno de los dos puntos opuestos (N-S o E-O) le correspondió una caja abierta o tapada. Cada dupla de un eje (N-S o E-O) representó una parcela pareada o bloque. Cada experimento se repitió tres veces (en el tiempo), durante tres semanas consecutivas en cada uno de los tres nidos, respetándose en cada uno la distribución inicial de tratamientos. Puesto que en cada caja (abierta o tapada) había cinco granos de café, para cada una de las tres mediciones se contó con 180 granos infestados.

Se utilizó un arreglo de parcela dividida en el tiempo (tres repeticiones), en un diseño de bloques completos al azar (seis parcelas pareadas), con ocho tratamientos (pareados) (SAS Institute 1988). Los tratamientos fueron: huevos expuestos vs. aislados, larvas

expuestas vs. aisladas, pupas expuestas vs. aisladas, y adultos de broca expuestos vs. aislados.

La variable de respuesta fue el consumo de presas hasta las 48 h de exposición de los granos infestados. Para esto, los granos fueron disecados en el laboratorio, donde se determinó la cantidad de individuos (huevos, larvas, pupas y adultos) vivos en cada grano. Esto demoró 30 min por grano, en promedio.

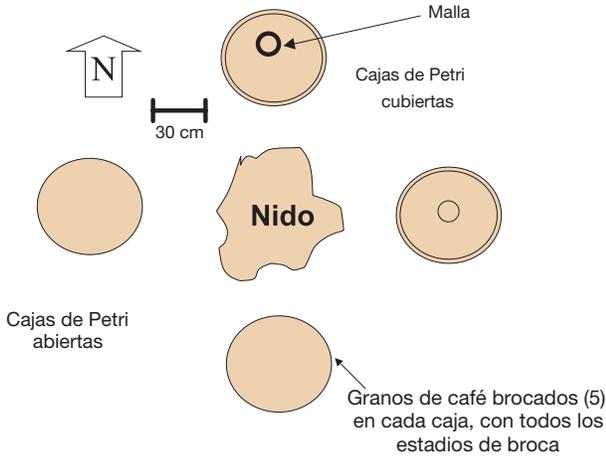


Figura 2. Disposición espacial de los tratamientos en el experimento de campo con *Hypothenemus hampei*.

Resultados

Laboratorio

S. geminata depredó fuertemente todos los estadios de *H. hampei*, con valores de 80-100% (Cuadro 1). Asimismo, consumió muchos individuos de todos los estadios, de manera equivalente ($p > 0,05$), sin que hubiera

diferencias con el tratamiento testigo. Por su parte, *P. radoszkowskii* causó mayor depredación sobre los estadios de huevo (100%) y larva (97,5%), pero no difirió ($p > 0,05$) de la causada a los adultos y al testigo.

De las especies de *Crematogaster*, *C. crinosa* también depredó fuertemente los estadios de huevo y larva de *H. hampei* (Cuadro 1), con valores equivalentes entre sí ($p > 0,05$) y muy superiores a los observados para los adultos ($p < 0,05$), en los que alcanzó apenas un 5%; para el testigo, la depredación fue nula. Por su parte, *C. curvispinosa* no consumió los adultos de *H. hampei* ni el testigo, y sus niveles de depredación sobre larvas y huevos fueron tan bajos que no difirieron de los demás tratamientos ($p > 0,05$). En cambio, *C. torosa* depredó fuertemente a las larvas (70%) y huevos (100%), cuyos valores superaron notoriamente ($p < 0,05$) a los de los adultos y el testigo.

Campo

S. geminata, *P. radoszkowskii* y *C. torosa* por lo general consumieron pocos individuos de todos los estadios de *H. hampei* (Cuadro 2). Para *S. geminata*, los valores promedio absolutos fueron de 6,4% (huevos), y el consumo de larvas, pupas y adultos fue nulo, mientras que para *P. radoszkowskii* fueron de 24,9% (huevos), 18,7% (larvas) y 7,2% (adultos); no hubo consumo de pupas. Para *C. torosa* fueron de 13,4% para huevos, 10,3% (larvas), 24,7% (pupas) y 3,4% (adultos). Asimismo, aunque en algunas repeticiones consumieron más en los estadios expuestos que en los aislados, dichas diferencias no fueron consistentes a lo largo del experimento.

Como consecuencia, no hubo diferencias en los niveles de depredación entre ninguno de los estadios de *H. hampei*, independientemente de si estaban ex-

Cuadro 1. Porcentaje promedio de depredación de *Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii* y *Crematogaster* spp. sobre tres estadios de *Hypothenemus hampei* y el testigo (larvas de *Anastrepha striata*) en experimentos de laboratorio. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2002.

Especie	Huevo $\bar{X} \pm s_{\bar{x}}$	Larva $\bar{X} \pm s_{\bar{x}}$	Adulto $\bar{X} \pm s_{\bar{x}}$	<i>A. striata</i> $\bar{X} \pm s_{\bar{x}}$
<i>S. geminata</i>	70,0 ± 46,9 a	100 ± 0 a	82,5 ± 12,6 a	75,0 ± 50 a
<i>P. radoszkowskii</i>	100 ± 0 a	97,5 ± 5 a	75,0 ± 33,2 a	60,0 ± 42,4 a
<i>C. crinosa</i>	100 ± 0 a	77,5 ± 45 a	5,0 ± 5,8 b	0 ± 0 b
<i>C. curvispinosa</i>	7,5 ± 15 a	20,0 ± 21,6 a	0 ± 0 a	0 ± 0 a
<i>C. torosa</i>	70,0 ± 40,8 a	90,0 ± 20 a	5,0 ± 10 b	17,5 ± 12,6 b

Los promedios seguidos por la misma letra no fueron estadísticamente diferentes ($p > 0,05$) entre los tratamientos (estadios y testigo). Datos transformados por medio de: $\arccoseno \sqrt{\%100}$.

Cuadro 2. Porcentajes absolutos y promedios de los diferentes estadios de *Hypothenemus hampei* encontrados en los granos de café expuestos o aislados en cajas Petri colocadas alrededor de nidos de *Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii* y *Crematogaster torosa*. Finca Alfredo Montealegre. Heredia, Costa Rica. 2002.

Especie y repetición	Huevos		Larvas		Pupas		Adultos	
	% depredación		% depredación		% depredación		% depredación	
	Absoluta	Promedio	Absoluta	Promedio	Absoluta	Promedio	Absoluta	Promedio
<i>S. geminata</i>								
1	0		0		0		0	
2	19		0		0		0	
3	0	6,43	0	0	0	0	0	0
<i>P. radoszkowskii</i>								
1	66		56,17		0		21,2	
2	8,6		0		0		0	
3	0	24,86	0	18,72	0	0	0	7,24
<i>C. torosa</i>								
1	30,91		30,9		0		10,17	
2	9,3		0		74,06		0	
3	0	13,41	0	1,30	0	24,68	0	3,39

Cuadro 3. Niveles de significancia estadística para el número promedio de los diferentes estadios de *Hypothenemus hampei* encontrados en los granos de café expuestos o aislados en cajas Petri colocadas alrededor de nidos de *Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii* y *Crematogaster torosa*. Finca Alfredo Montealegre. Heredia, Costa Rica. 2002.

Especie y estadio	Tratamiento	Bloque	Repetición	Bloque/ repetición	Tratamiento/repetición
<i>S. geminata</i>					
Huevo	NS	NS	NS	NS	NS
Larva	NS	NS	*	NS	NS
Pupa	NS	NS	**	NS	NS
Adulto	NS	NS	NS	NS	NS
<i>P. radoszkowskii</i>					
Huevo	NS	NS	NS	NS	NS
Larva	NS	NS	NS	NS	NS
Pupa	NS	NS	**	NS	NS
Adulto	NS	NS	NS	NS	NS
<i>C. torosa</i>					
Huevo	NS	NS	*	NS	NS
Larva	NS	NS	NS	NS	NS
Pupa	NS	NS	**	NS	NS
Adulto	NS	NS	*	NS	NS

Nivel: No significativo (NS); significativo (*) ($p < 0,05$); y altamente significativo (**) ($p < 0,01$).

puestos o aislados, para ninguna de las tres especies de hormigas ($p > 0,05$; Cuadro 3). Las únicas diferencias detectadas se presentaron cuando se analizó el factor repetición (es decir, la medición en el tiempo), lo cual ocurrió únicamente en el estadio de pupa para las tres especies de hormigas, y en el de adulto para *C. torosa*.

Discusión

Todas las especies de hormigas evaluadas causaron depredación en al menos un estadio de *H. hampei*. Esto confirma que, a pesar de sus hábitos generalis-

tas en cuanto a alimentación (Hölldobler y Wilson 1990, Longino y Hanson 1995), ellas pueden depredar especies de insectos herbívoros, por lo que podrían ser útiles en programas de manejo integrado de *H. hampei*.

Sin embargo, su efecto fue más perceptible en los experimentos más simples y artificiales, en el laboratorio. Por ejemplo, *S. geminata* causó niveles de depredación de 70-100%, dependiendo del estadio, mientras que fueron de 75-100% para *P. radoszkowskii*, y de 0-100% para *Crematogaster* spp. En el testigo (lar-

vas de la mosca *A. striata*), los valores fueron de 0-100%, dependiendo de la especie de hormiga. En los experimentos de campo, en cambio, los niveles de depredación promedio no superaron el 25% en ningún caso. Estos resultados podrían sugerir que ellas fueron forzadas a depredar a *H. hampei*, pues en las cajas del laboratorio no había otro recurso alimenticio. No obstante, esto no es totalmente cierto, pues algunas especies de *Crematogaster* no se alimentaron de ciertos estadios de *H. hampei* ni de la mosca de la fruta y, además, en el campo también hubo cierto grado de depredación.

De hecho, se ha documentado que en condiciones naturales varias de las especies de hormigas evaluadas pueden actuar como depredadoras. Por ejemplo, aunque *S. geminata* se considera como cosechadora de semillas (Longino y Hanson 1995, Torres 1990, Trabaniño 1999), puede ser tan granívora como entomófaga, pues ataca y consume muchos rubros alimentarios (Wheeler 1910). Puede depredar insectos de importancia como plagas agrícolas, tales como *Spodoptera frugiperda* (Lastres *et al.* 1990, Perfecto 1991, Perfecto y Sediles 1992), *Agrotis* sp., *Listronotus* sp. (Lastres *et al.* 1990), *Diabrotica adelpha* y *Diabrotica balteata* (Risch 1981), *Anthonomus grandis* (Sturm *et al.* 1990), *Dalbulus maidis* (Perfecto 1991, Perfecto y Sediles 1992) y *Ceratitidis capitata* (Eskafi y Kolbe 1990).

Asimismo, *P. radoszkowskii*, cuyos congéneres se caracterizan por anidar en la hojarasca y ser cosechadoras de semillas (Levey y Byrne 1993), también depreda a *S. frugiperda* (Perfecto 1991). Por su parte, *Crematogaster* spp. pueden atacar a *Leptopharsa gibbicarina* (Montañez *et al.* 1998) y a *H. hampei* (Benassi 1995). En experimentos paralelos a los de este estudio, *S. geminata*, *P. radoszkowskii* y *C. crinosa* depredaron huevos, larvas y pupas del gusano barrenador de las meliáceas, *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) (Varón *et al.* 2003).

Estos hallazgos son congruentes con lo planteado por Way y Khoo (1992), quienes consideran que, aunque muchas especies de hormigas son depredadoras generalistas, al atacar plagas podrían ser valiosos agentes de control biológico, como sucede con *Oecophylla smaragdina*, *Oecophylla longinoda*, *Dolichoderus thoracicus*, *Formica rufa*, *Azteca* sp., *Wasmania auropunctata*, *Anoplolepis* sp. y *Solenopsis* sp. Asimismo, Perfecto y Castiñeiras (1998) destacan este efecto en *Pheidole megacephala*, *Ectatomma tuberculatum* y *Azteca chartifex*.

Sin embargo, desde la perspectiva del manejo de

plagas también es importante conocer la preferencia por ciertos estadios de una plaga, así como la estrategia específica de búsqueda de alimento por parte de cada especie de hormiga. Por ejemplo, *S. geminata* causó alta depredación de todos los estadios en el laboratorio, pero en el campo más bien fue baja. En el laboratorio, la depredación de huevos fue inferior a la de *P. radoszkowskii* y *C. crinosa*, aunque los datos no son estrictamente comparables, pues los experimentos fueron independientes.

No obstante, cabe advertir que la mayor depredación de *S. geminata* sobre la mayoría de los estadios de *H. hampei* en el laboratorio posiblemente reflejó su mayor actividad de búsqueda y su capacidad de reclutamiento, en comparación con las otras dos especies. Ella mostró gran rapidez de respuesta al encontrar los diferentes estadios y, una vez encontrados estos, el ataque fue casi inmediato (E. Varón, obs. pers.).

Lo anterior obedece quizás a su mayor capacidad de captar recursos grandes y defendibles, debido a que tiene un rápido reclutamiento, el cual es un mecanismo de comunicación que permite atraer miembros de la misma colonia a sitios donde su trabajo es necesario (Wilson 1971). La principal estrategia de *S. geminata* es acudir en masa y defender los recursos encontrados (Perfecto y Vandermeer 1996). En este caso, las fuentes de alimento fueron suministradas en volúmenes (“paquetes”) grandes, como lo fueron los grupos de huevos, larvas y adultos de *H. hampei*, así como de larvas de *A. striata*. Sin embargo, la mayor depredación de *S. geminata* también podría explicarse porque en los experimentos se utilizó un nido más grande, que albergó una población mucho mayor que las de las otras especies, pero esto se hizo así porque sus nidos normalmente son bastante más grandes, también.

Por su parte, *P. radoszkowskii* también depredó bastante, sobre todo los estadios inmaduros de *H. hampei* (huevos y larvas). Esto podría explicarse porque *P. radoszkowskii* supera a *S. geminata* en su capacidad para encontrar recursos cuando las fuentes de alimento aparecen en volúmenes pequeños (Perfecto y Vandermeer 1996), lo cual no ocurrió en este experimento. Esto le impidió ser más rápida que *S. geminata* en la localización de las larvas y adultos de *H. hampei*, así como las larvas de *A. striata* en las cajas de depredación, excepto cuando las fuentes fueron los huevos de *H. hampei*, que fue cuando ella mostró su mayor eficiencia.

Finalmente, *Crematogaster* spp. causaron depredación sobre todo en los estadios inmaduros de *H. hampei*, lo que coincide con lo observado por Fonseca y Araujo (1939), citados por Le Pelley (1968), en Brasil, quienes notaron que una hormiga perteneciente a este género consumió altos números de estados inmaduros de *H. hampei* en los frutos. Fue evidente la menor depredación causada sobre adultos de *H. hampei* y larvas de *A. striata*, lo cual sugiere que son especies menos generalistas que *S. geminata* y *P. radoszkowskii*. Sin embargo, *C. curvispinosa* en general causó menor depredación que sus congéneres, debido no solamente a su propia capacidad de depredación, sino también a la baja viabilidad del nido utilizado, en el cual la población disminuyó paulatinamente, hasta que al final ningún individuo sobrevivió.

La alta depredación observada en laboratorio contrastó con los bajos niveles detectados en el campo, en condiciones menos artificiales, pues no hubo depredación de importancia sobre ningún estadio de *H. hampei*. Esto podría reflejar la dificultad que enfrentan todas estas especies de hormigas para desalojar la broca una vez que ha penetrado en el fruto de café.

El ingreso de hormigas a los granos fue observado no solamente para las especies en estudio, sino también para otras, las cuales no fueron identificadas. Esto confirma lo observado por otro autor (Vélez 2002)⁵, quien observó en detalle el ingreso de *S. geminata* en el túnel hecho por la broca. Asimismo, Fonseca y Araujo (1939), citados por Le Pelley (1965), observaron a *Crematogaster* sp. entrando en los túneles de la broca y sus diferentes estadios inmaduros. A pesar de eso, en este estudio en ninguno de los estadios la depredación fue significativa en términos estadísticos. Las únicas diferencias detectadas en el consumo ocurrieron entre las tres repeticiones efectuadas en diferentes fechas, y sobre todo en el estadio de pupa, lo cual podría explicarse porque se utilizaron granos que fueron infestados en la misma fecha y el estadio de pupa tiene muy corta duración. Es decir, podría haber sucedido que las pupas fueran muy abundantes una semana y dejaran de serlo rápidamente, al convertirse en adultos la mayoría de los individuos.

Es posible que los bajos niveles de depredación observados se deban a dificultades de penetrar en el orificio hecho por la broca. Esta incapacidad de pene-

trar en las perforaciones hechas por plagas fue observada para *Pheidole megacephala* en galerías de *Cylas formicarius elegantulus* en camote (*Ipomoea batatas*) (Castiñeiras 1989) aunque, a pesar de dicha incapacidad, la hormiga ejerció un control de la plaga por medio de la ocupación de los sitios que utiliza la plaga para perforar. Asimismo, aunque se ha reportado que *C. curvispinosa* puede penetrar al aumentar el diámetro de los orificios de *H. hampei* y depredarla (Benassi 1995), la especie aquí evaluada (*C. torosa*) es más grande, lo cual podría haber dificultado su penetración en el orificio.

En tal sentido, el tamaño podría ser un serio obstáculo para el control de *H. hampei*. El tamaño corporal de cada una de las especies es de 1,8-2,2 mm (*C. crinosa*); 2-2,5 mm (*C. curvispinosa* y *P. radoszkowskii*); 2,8-3 mm (*C. torosa*) y 3,5-5 mm (*S. geminata*). Sin embargo, más que el tamaño corporal, quizás es más determinante el tamaño de la cabeza, que corresponde a 0,3 mm (*C. crinosa*); 0,4 mm (*C. curvispinosa*); 0,6-1,4 mm (*P. radoszkowskii*); 0,7-0,8 mm (*C. torosa*), y 0,5-1,2 mm (*S. geminata*). Según las medidas de la cabeza, las especies evaluadas podrían controlar la broca, aunque *C. crinosa* y *C. curvispinosa* tendrían una ligera ventaja, pues la hembra de *H. hampei* mide 0,6-0,8 mm de ancho y su perforación tiene un diámetro similar; ella desarrolla todo su ciclo de vida dentro del fruto.

La baja depredación de *H. hampei* por hormigas también fue registrada por Vélez (2000), quien reportó un 7% de depredación en granos durante el secado por parte de un complejo de hormigas aparecidas de manera espontánea. Esto sugiere que la contribución de las hormigas en la depredación de la broca es marginal, debido a sus hábitos alimentarios generalistas.

En los experimentos de campo, de acuerdo con el número de individuos encontrados en cajas tapadas y abiertas, la mayor depredación absoluta fue para *P. radoszkowskii* (66%), seguida por *C. torosa* (31%), mientras que para *S. geminata* el único registro de depredación correspondió al 19%. Estos valores fueron menores de lo observado en el laboratorio, posiblemente porque las hormigas prefirieron buscar otros sitios y otras fuentes alimenticias, debido a sus hábitos generalistas y oportunistas.

Sin embargo, también se debe considerar que la metodología utilizada, por ser indirecta, genera incertidumbre sobre lo que realmente sucedió dentro de

⁵ Vélez, M. 2002. CENICAFE, Colombia (comunicación personal).

los granos. Debido a que el período de incubación de la plaga es de unos 21 días, en ese lapso hubo un fuerte ataque de mohos (*Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp.) que, aunque fueron eliminados cuando se desinfectó el grano antes de ser utilizado, podrían haber afectado el ingreso de las hormigas, debido a un obstáculo físico de sus estructuras o a sus aflatoxinas. Esto pudo haberse reflejado en la mortalidad de larvas de *H. hampei* (25%) en todo el experimento, la cual podría atribuirse a dichos hongos, dadas las características de necrosamiento observadas en la mayoría de ellas.

En síntesis, con respecto a la capacidad depredadora de las especies de hormigas estudiadas, no hay duda de que pueden depredar a *H. hampei*, pero en condiciones naturales dicha capacidad está limitada por la dificultad de ingreso en el orificio hecho por la broca. Otras pruebas más directas de depredación, como por ejemplo de contrastes entre arbustos infestados con broca con acceso a hormigas y arbustos aislados de ellas por medio de mallas, podrían aportar más claridad sobre dicha capacidad, medida por el porcentaje de infestación o pérdidas en la producción.

En todo caso, convendría evaluar el uso de cebos artificiales en las ramas del arbusto de café, en las etapas fenológicas previas al arribo y ataque de los adultos de *H. hampei*. Dichos cebos podrían estimular e incrementar la actividad de reclutamiento de las hormigas y, así, la posibilidad de consumir los adultos antes de que penetren en los frutos. Esta técnica se ha utilizado con éxito para combatir otras plagas, empleando cebos azucarados o proteicos (Cañas y O'Neil 1998, Sekamatte *et al.* 2001).

Agradecimientos

Los autores agradecen a Arturo Ramírez (CATIE) por su apoyo en la recolección de datos en el campo; a Isabel Chan (CICAFE), Grace María Alpízar, Marcela Barrantes, Guido Sanabria, Arturo Gamboa, Asdrúbal Ramírez y Rodrigo Granados (CATIE) por su apoyo logístico; a John T. Longino (The Evergreen State College, Olympia, Washington) por la identificación de las especies de hormigas; a Gilberto Páez y Gustavo López (CATIE) por su apoyo en aspectos estadísticos; a Alfredo Montealegre, por facilitar su finca para el estudio de campo, y a Moisés Vélez (CENICAFE, Colombia) por compartir información inédita sobre el tema.

Literatura citada

Barbera, N; Hilje L; Hanson, P; Longino, JT; Carballo, M; De Melo, E. 2002. Diversidad de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, en Turrialba, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 9(35-36): 75-80.

Barbera, N; Hilje L; Hanson, P; Longino, JT; Carballo, M; De Melo, E. 2004. Diversidad de hormigas en un gradiente de

cafetales orgánicos y convencionales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 72: 81-92

Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.

Benassi, LRM. 1995. Levantamento dos inimigos naturais da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) no norte do Espírito Santo. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 24(3): 635-637.

Bustillo, AE. 1993. Control biológico como un componente en un programa de manejo integrado de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) en Colombia. *In Seminario Taller sobre Manejo Integrado de Plagas del café (Coffea arabica L.) en Costa Rica (1993, Turrialba)*. Memorias. Turrialba, CR, CATIE. 100 p.

Cañas, L; O'Neil, R. 1998. Applications of sugar solutions to maize and the impact of natural enemies on Fall Armyworm. *International Journal of Pest Management* 44(2):59-64.

Castiñeiras, A. 1989. Relaciones de *Pheidole megacephala* (Hymenoptera: Formicidae) con *Cylas formicarius elegantulus* (Coleoptera; Curculionidae) en el cultivo del boniato: *Ipomoea batatas*. *Ciencia y tecnología Agrícola* 1(4):15-19.

CENICAFE. 1994. ¿Tiene la broca del café enemigos nativos en Colombia? *Brocarta* 23:1-2.

Eskafi, F; Kolbe, M. 1990. Predation on larval and pupal *Ceratitits capitata* (Diptera: Tephritidae) by the ant *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae) and other predators in Guatemala. *Environmental Entomology* 19(1):148-153.

Hölldobler, B; Wilson, EO. 1990. The ants. The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 571 p.

Huang, HT; Yang, P. 1987. The ancient cultured citrus ant: A tropical ant is used to control insect pests in Southern China. *Bioscience* 37(9):665-671.

Infante, F; Barrera, JF; Gómez, J; De la Rosa, W; Castillo, A. 1993. Avances sobre el combate biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) en México. *In Primer Seminario Taller sobre Manejo Integrado de Plagas del Café (Coffea arabica L.) en Costa Rica. (1993, Turrialba)*. Memoria. Turrialba, CR, CATIE. 100 p.

Lastres, L; Andrews, K; Gilstrap, F. 1990. Control biológico del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) por *Doru taeniatum* (Dermaptera: Forticulidae) y *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae). *In Memorias Congreso Nacional MIP (4, Managua)*. Memorias. Nicaragua. p. 305-306.

Le Pelley, RH. 1968. Pests of coffee. Londres, UK, Longman's. 590 p.

Leefmans, S. 1923. De Koffiebessenborbork (*Stephanoderes hampei* Ferrari= Coffeae Hagedorn). I. Levenswijze en ecologie. English summary. *Meded. Van het Instituut Voor Plantenz.* p. 57-94.

Levey, D; Byrne, M. 1993. Complex ant-plant interactions: rain forest ants as secondary disperses and post-dispersal seed predators. *Ecology* 74(6):1802-1812.

Longino, JT; Hanson, PE. 1995. The ants (Formicidae). *In Hanson, PE; Gauld, ID. eds. The Hymenoptera of Costa Rica*. New York, US, Oxford University Press and The Natural History Museum. p. 589-620.

- Montañez, ML; Calvache, H; Luque, JE; Mendez, A. 1998. Control biológico de *Leptopharsa gibbicarina* (Hemiptera: Tingidae) con la hormiga *Crematogaster* sp. (Hymenoptera: Formicidae) en palma de aceite. *Revista Colombiana de Entomología* 24(3-4):89-94.
- Perfecto, I. 1991. Ants (Hymenoptera: Formicidae) as natural control agents of pests in irrigated maize in Nicaragua. *Journal of Economic Entomology* 84(1):64-70.
- _____; Castiñeiras, A. 1998. Deployment of the predaceous ants and their conservation in agroecosystems. In Barbosa, P. ed. *Conservation biological control*. Washington DC, US, Academic Press. p. 269-289.
- _____; Sediles, A. 1992. Vegetational diversity, ants (Hymenoptera: Formicidae) and herbivorous pests in a Neotropical agroecosystem. *Environmental Entomology* 21(1):61-67.
- _____; Snelling, R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: Ants in coffee plantations. *Ecological Applications* 5(4):1084-1097.
- _____; Vandermeer, J. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia* 108:577-582.
- _____; Vandermeer, J; Hanson, P; Cartín, V. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agroecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6:935-945.
- Risch, S. 1981. Ants as important predators of rootworm eggs in the neotropics. *Journal of Economic Entomology* 74(1):88-90.
- SAS. 1988. SAS language guide for personal computers. 6.03 ed. Cary, North Carolina, US, SAS Institute Inc. 558 p.
- Sekamatte, B; Latigo, M, Russell-Smith, A. 2001. The potential of protein- and sugar-based baits to enhance predatory ant activity and reduce termite damage to maize in Uganda. *Crop Protection* 20:653-662.
- Sponagel, K. 1994. La broca del café *Hypothenemus hampei* en plantaciones de café robusta en la Amazonía Ecuatoriana. Giessen, DE, Wissenschaftlicher fachverlag. 185 p.
- Sturm, MM; Sterling, WL; Hartstack, W. 1990. Role of natural mortality in boll weevil (Coleoptera. Curculionidae) management programs. *Journal of Economic Entomology* 83(1):1-7.
- Torres, JA. 1990. Aspectos ecológicos, toxicológicos y agrícolas de la hormiga brasileña *Solenopsis invicta*. *Journal of Agriculture University of Puerto Rico* 74(4):375-394.
- Trabanino, R. 1999. Guía para el manejo integrado de plagas invertebradas en Honduras. El Zamorano, HN, Zamorano Academic Press. 156 p.
- Vandermeer, J; Perfecto, I; Ibarra, G; Phillipott, S; Garcia, A. 2002. Ants (*Azteca* sp.) as potencial biological control agents in shade coffee production in Chiapas, Mexico. *Agroforestry systems* 56:271-276.
- Varón, EH; Barbera, N; Hanson, P; Carballo, M; Hilje, L. 2003. Potencial de depredación de *Hypsipyla grandella* por hormigas, en cafetales de Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*. (En revisión).
- Vélez, M. 2000. Evaluación de marquesinas para el control de la broca del café, *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera:Scolytidae). Tesis Ing. Agr. Palmira, CO, Universidad Nacional de Colombia. 104 p.
- Way, MJ; Khoo, KC. 1992. Role of ants in pest management. *Annual Review of Entomology* 37:479-503.
- _____; Islam, Z; Heong, KL; Joshi, RC. 1998. Ants in tropical, irrigated rice: Distribution and abundance, especially of *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae). *Bulletin of Entomological Research* 88:467-476.
- Wheeler, WM. 1910. *Ants: their structure, development and behavior*. New York, US, Columbia University Press. 663 p.
- Wilson, EO. 1971. *The insect societies*. Cambridge, Massachusetts, US, The Belknap Press of Harvard University Press. 548 p.