

Diversidad de especies de hormigas en un gradiente de cafetales orgánicos y convencionales

Nadiejda Barbera¹
Luko Hilje²
Paul Hanson³
John T. Longino⁴
Manuel Carballo²
Elías de Melo²

RESUMEN. Se caracterizó la diversidad de especies hormigas presentes en un gradiente de seis sistemas agroforestales de café, desde totalmente orgánicos hasta totalmente convencionales. Hubo contrastes marcados entre los sistemas en cuanto a la composición, riqueza y diversidad de hormigas, alcanzándose los mayores valores en el sistema totalmente orgánico. No obstante, tales diferencias se explican más por la edad de los cafetales y su complejidad estructural que por su tipo de manejo (orgánico o convencional). Asimismo, tanto la riqueza como la diversidad de especies de hormigas fueron mayores en el suelo y en los árboles de poró (*Erythrina poeppigiana*) que en los arbustos de café. *Solenopsis geminata* fue la especie dominante en todos los sistemas, con excepción del sistema totalmente orgánico, donde dominó *Pheidole radoszkowskii*.

Palabras clave: agricultura orgánica, Costa Rica, *Erythrina poeppigiana*, índices de diversidad, *Pheidole radoszkowskii*, *Solenopsis geminata*.

ABSTRACT. Ant species diversity in a gradient of organic and conventional coffee systems. Ant species diversity was studied along a gradient of six agroforestry coffee systems, ranging from fully organic to fully conventional. There were clear contrasts between systems in terms of species composition, richness and diversity, with the highest values attained in the fully organic system. However, such differences were due to the age and structural complexity of the systems, rather than to the type of management (organic or conventional). Also, both ant species richness and diversity were higher in the soil and on poró (*Erythrina poeppigiana*) trees than on the coffee shrubs. *Solenopsis geminata* was the dominant ant species in all systems, excepting the fully organic one, where *Pheidole radoszkowskii* dominated.

Key words: Costa Rica, diversity indexes, *Erythrina poeppigiana*, organic agriculture, *Pheidole radoszkowskii*, *Solenopsis geminata*.

Introducción

Históricamente, el café (*Coffea arabica* L.) ha tenido un papel clave en la economía y el desarrollo social en Mesoamérica. Desde sus orígenes en esta región, se ha sembrado acompañado por árboles de sombra, los cuales cumplen varias funciones agronómicas y económicas importantes (Beer *et al.* 1998). No obstante, en los últimos decenios se han introducido nuevas variedades que se siembran en monocultivos sin dichos árboles, sustituyendo el cultivo tradicional agroforestal, aunque también en años recientes se ha dado im-

pulso a nuevos métodos de producción, como el café orgánico (Rice y Ward 1996).

La producción de café orgánico aporta beneficios económicos importantes para los caficultores, como resultado de su venta a precios preferenciales entre cierto tipo de consumidores de los países desarrollados, lo cual obedece, en parte, al mantenimiento de los árboles de sombra en dichos sistemas (Rice y Ward 1996). Recientemente se ha documentado que los árboles, además de sus funciones agronómicas y productivas

¹ Apdo. Postal 7461, Falcón- 4101. **Venezuela.** nbarbera@catie.ac.cr

² Departamento de Agricultura y Agroforestería, CATIE. Turrialba, **Costa Rica.** lukohilje@catie.ac.cr, mcarball@catie.ac.cr, eliasdemel@catie.ac.cr

³ Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, **Costa Rica.** egodoy@inbio.ac.cr

⁴ The Evergreen State College, Olympia, Washington, **EUA.**

(fuente de madera o frutas), contribuyen con algunas funciones menos evidentes, como la de actuar como refugio temporal para aves migratorias durante el invierno en el hemisferio norte (Perfecto *et al.* 1996), así como de hábitats permanentes para insectos.

Varios grupos de insectos pueden alcanzar altos niveles de diversidad en plantaciones de café con sombra, incluyendo representantes del orden Hymenoptera (Perfecto y Snelling 1995, Perfecto *et al.* 1996, 1997). Entre este orden sobresalen las hormigas, que son un grupo muy diverso en hábitos alimentarios, lo cual les permite contribuir en procesos claves de los ecosistemas, tales como el mejoramiento del suelo, la circulación de nutrimentos y la regulación de las poblaciones de insectos herbívoros (Way y Khoo 1992). Este último proceso ocurre gracias al hábito depredador de algunas especies, las cuales no solamente son generalistas, sino que comúnmente incluyen otros rubros en su dieta (Longino y Hanson 1995). Aunque se supone que las hormigas no son eficientes como agentes de control biológico de plagas, algunas evidencias demuestran que pueden serlo (Way y Khoo 1992, Perfecto y Castiñeiras 1998).

En términos prácticos, es necesario conocer la funcionalidad de las hormigas en los agroecosistemas cafetaleros y, especialmente, de las especies que podrían actuar como agentes de control biológico, para así establecer recomendaciones acerca de su conservación o su incremento. En realidad, se desconoce si otros métodos orgánicos, además del uso de la sombra, podrían favorecerlas.

Por lo tanto, en el presente estudio se intentó caracterizar la diversidad de hormigas presentes en sistemas agroforestales contrastantes de café, incluyendo sistemas orgánicos, como fundamento para mejorar la conservación y aprovechamiento de las especies depredadoras en programas de manejo integrado de plagas (MIP). Se partió de la hipótesis de que la intensificación de las prácticas de manejo en la producción de café causa una reducción de la composición y diversidad de las especies de hormigas.

Materiales y métodos

Localización

El estudio se realizó entre febrero y setiembre de 2001, en fincas de café localizadas en los predios del CATIE, en Turrialba, Costa Rica. El CATIE está en la vertiente del Caribe, a 9°52'N, 83°38'O y 590 msnm. Los valores anuales promedio de precipitación, tem-

peratura y humedad relativa son 2479 mm, 21,7 °C y 87%, respectivamente. Aunque no existe estacionalidad marcada en la precipitación, esta disminuye entre enero y abril y se incrementa en junio, julio, noviembre y diciembre.

Tratamientos

La investigación se efectuó en tres fincas de café, las cuales contenían sistemas de producción representativos de un espectro que abarcaba desde un sistema totalmente orgánico hasta uno comercial, denominados así: totalmente orgánico (TO), levemente orgánico (LO), medianamente orgánico (MO), medianamente convencional (MC), convencional (CN) y comercial (CM).

El primer sistema (totalmente orgánico, TO) estaba representado por una parcela de café (cv. Caturra) de 4 ha, de siete años de edad, ubicada dentro del campus del CATIE (Fig. 1A). Además del café, contenía árboles de poró (*Erythrina poeppigiana*, Fabaceae), los cuales fijan nitrógeno y aportan sombra, y algunos de laurel (*Cordia alliodora*). En dicha parcela se hicieron aplicaciones de broza descompuesta (2 kg/planta) en agosto, y en enero-febrero se realizó la descumbra de los árboles de poró y la poda de los cafetos; el control de malezas se efectuó manualmente, debido a sus bajas poblaciones.

Los sistemas LO, MO, MC y CN estaban dentro de la Estación Experimental La Montaña (sector Bonilla 2), en una finca o parcela experimental (cv. Caturra) de 9 ha, subdividida en tres bloques, cada uno con siete tipos de tratamientos (sistemas), incluyendo combinaciones de diferentes especies de árboles (de servicio, maderables o fijadores de nitrógeno), como poró, roble coral o amarillón (*Terminalia amazonia*, Combretaceae) y cashá (*Chloroleucon eurycyclum*, Mimosaceae) con varios niveles de insumos (convencionales y orgánicos). Dicha parcela experimental (Fig. 1B) fue establecida en octubre de 2000, como parte de las actividades del Programa Regional MIP/AF del CATIE (Haggar *et al.* 2000). Todos los sistemas contenían árboles de poró, pero difirieron en los niveles de insumos.

Esta parcela tenía cuatro meses de haber sido establecida cuando se iniciaron los muestreos, y su edad en el momento de este estudio era de un año. Anteriormente, el terreno estuvo plantado con caña de azúcar, y se mantiene rodeado por plantaciones de este cultivo. Los árboles de poró estuvieron representa-

dos por estacas en desarrollo, con tallos delgados (15-20 cm de diámetro), con un máximo de 1,2 m de altura y muy poco follaje inicialmente, el cual se desarrolló profusamente en los meses subsiguientes.

El último sistema (comercial, CM) correspondió a una finca bajo producción comercial (cv. Costa Rica 95, de porte ligeramente mayor que el de uno de sus progenitores, el cv. Caturra) de 7 ha, de cinco años de edad, también dentro de la Estación Experimental La Montaña (Fig. 1C), donde existen árboles de poró. El manejo consistió en la descumbra de estos y la poda de los cafetos durante enero-febrero. Además, se hicieron tres fertilizaciones al suelo y dos aplicaciones foliares, que dependieron de los análisis de suelos. El desmalezado se realizó en enero-febrero y abril-mayo, con herbicida, y en setiembre se aplicó una combinación de tres herbicidas.

Las tres fincas estaban ubicadas en un radio de 1300 m, con distancias de 1 km entre el sector Bonilla y los sistemas comercial (CM) y de café totalmente orgánico (TO), respectivamente, y de 300 m entre el CM y el TO.

Muestreos

Las hormigas se muestrearon mediante trampas (cebo atrayente) en cada uno de los seis sistemas (tratamientos), quincenalmente, durante siete meses (desde mediados de febrero hasta mediados de setiembre). La trampa consistió en un cuadrado de cartón absor-

bente (28 cm²), que se sumergía desde la víspera en una solución de atún en aceite vegetal (Fig. 2).

Para homologar la situación de las fincas TO y CM con los tres bloques del sector Bonilla 2, estas se subdividieron en tres zonas amplias y bien diferenciadas (“bloques”). Dentro de cada una de ellas (al igual que en cada sistema en el sector Bonilla), se eligieron cinco sitios de muestreo, aleatoriamente. En cada uno, y para cada fecha de muestreo, se colocaron trampas en los tres microhábitats (un arbusto de café, un árbol de poró y el suelo de la parcela). Las trampas se adhirieron al arbusto de café o poró con una tachuela (aproximadamente a 30 cm del suelo) o se colocaron sobre el suelo, durante 30 min. Por lo tanto, para cada fecha se contó con 270 muestras, subdivididas en 45 por cada sistema, correspondientes a cinco muestras de cada microhábitat (café, poró y suelo) dentro de cada zona o bloque de la finca.

Las muestras se depositaron individualmente en bolsas plásticas y se trasladaron al laboratorio, donde se colocaron en una refrigeradora para inmovilizar las hormigas. Posteriormente se transfirieron a frascos con alcohol al 70%, y luego se clasificaron los especímenes por morfoespecie. Se identificaron inicialmente mediante una clave pictórica disponible en internet (http://www.evergreen.edu/user/serv_res/research/arthropod/AntsofCostaRica.html) y después fueron revisadas por el autor de ésta, el Dr. John T. Longino.



Figura 1. Aspecto general de tres de los sistemas de producción de café estudiados en esta investigación: totalmente orgánico (TO) (A), convencional (CN) (B) y comercial (CM) (C). CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001.



Figura 2. Trampa (cebo atrayente) utilizada para capturar las hormigas.

Análisis

Se mantuvieron separados los recuentos en cada tratamiento para contabilizar el número de individuos por morfoespecie, el cual fue necesario para calcular los índices pertinentes. Para comparar la composición de especies de cada sistema y componente dentro de cada sistema agroforestal, se graficó la curva de abundancia de especies, y se calcularon los índices de diversidad y equidad (Shannon-Wiener), así como de similitud (Jaccard) (Krebs 1989).

Además, como un criterio complementario de los índices para comparar la composición de especies de hormigas entre sistemas y hábitats, se efectuó un análisis

de conglomerados (Krebs 1989) basado en el índice de similitud de Jaccard. Esto se hizo según el método de correlación (R^2) semi-parcial, el cual es una medida de distancia binaria (ausencia o presencia) que considera la correlación entre cada par de variables, mientras mantiene constante el valor de cada una (Zar 1996). Aporta un ámbito de valores entre 0 (mayor similitud) y 1 (mayor diferencia).

Resultados

Composición de especies por sistema

Durante los siete meses de muestreo se capturaron 244215 individuos en los seis sistemas estudiados, pertenecientes a 19 especies, 16 géneros y cuatro subfamilias (Cuadro 1). Las cinco especies más abundantes, presentes en todos los sistemas, fueron: *Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii*, *Pheidole cocciphaga*, *Wasmannia auropunctata* (Myrmicinae) y *Tapinoma paratrachina* (Dolichoderinae).

En todos los sistemas, la subfamilia más abundante fue Myrmicinae, representada por 242419 individuos (99%), pertenecientes a 10 especies, entre las cuales predominó *S. geminata*, con 89% del total de individuos capturados en todos los sistemas. La segunda subfamilia fue Dolichoderinae (1395 individuos y tres especies), seguida por Formicinae (353 individuos y dos especies) y Ponerinae (50 individuos y cuatro especies).

Cuadro 1. Número total de especies, subfamilias e individuos de hormigas para los seis sistemas de café estudiados. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001.

Especie	Subfamilia	Frecuencia	%
<i>Solenopsis geminata</i>	Myrmicinae	216564	88,68
<i>Pheidole radoszkowskii</i>	Myrmicinae	16024	6,56
<i>Pheidole cocciphaga</i>	Myrmicinae	7462	3,06
<i>Tapinoma paratrachina</i>	Dolichoderinae	1337	0,55
<i>Wasmannia auropunctata</i>	Myrmicinae	1135	0,46
<i>Solenopsis picea</i>	Myrmicinae	653	0,27
<i>Monomorium floricola</i>	Myrmicinae	345	0,14
<i>Brachymyrmex</i> sp.	Formicinae	260	0,11
<i>Rogeria tonduzi</i>	Myrmicinae	149	0,06
<i>Camponotus novogranadensis</i>	Formicinae	93	0,04
<i>Pheidole simonsi</i>	Myrmicinae	76	0,03
<i>Azteca</i> sp.	Dolichoderinae	35	0,01
<i>Forelius</i> sp.	Dolichoderinae	23	0,01
<i>Odontomachus chelifer</i>	Ponerinae	21	0,01
<i>Gnamptogenis striatula</i>	Ponerinae	18	0,01
<i>Cardiocondyla</i> sp.	Myrmicinae	7	0
<i>Ectatomma gibbum</i>	Ponerinae	7	0
<i>Pachycondyla obscuricornis</i>	Ponerinae	4	0
<i>Crematogaster curvispinosus</i>	Myrmicinae	2	0
Total		244215	100

Los porcentajes indicados como cero (0) corresponden a valores inferiores a 0,01%.

En cuanto a la abundancia relativa de las especies para cada sistema, en todos los casos se obtuvieron curvas de abundancia de especies con tendencias análogas, con forma de J invertida (Fig. 3), las cuales indican que no todas las especies de hormigas fueron igualmente abundantes, sino que unas pocas especies fueron muy abundantes, otras ocuparon una posición intermedia, y la mayoría estuvo representada por pocos individuos.

S. geminata fue la especie dominante en todos los sistemas, alcanzando valores de 86-96% del total de individuos, dependiendo del sistema (Cuadro 3); la única excepción fue el sistema TO, donde ocupó el segundo lugar, con apenas 16%. Los valores iguales o superiores al 90% se registraron para los cuatro sistemas ubicados en la parcela experimental (LO, MO, MC y CN). En estos, sus números fueron mayores en los sistemas convencionales (MC y CN) que en los sistemas orgánicos (LO y MO).

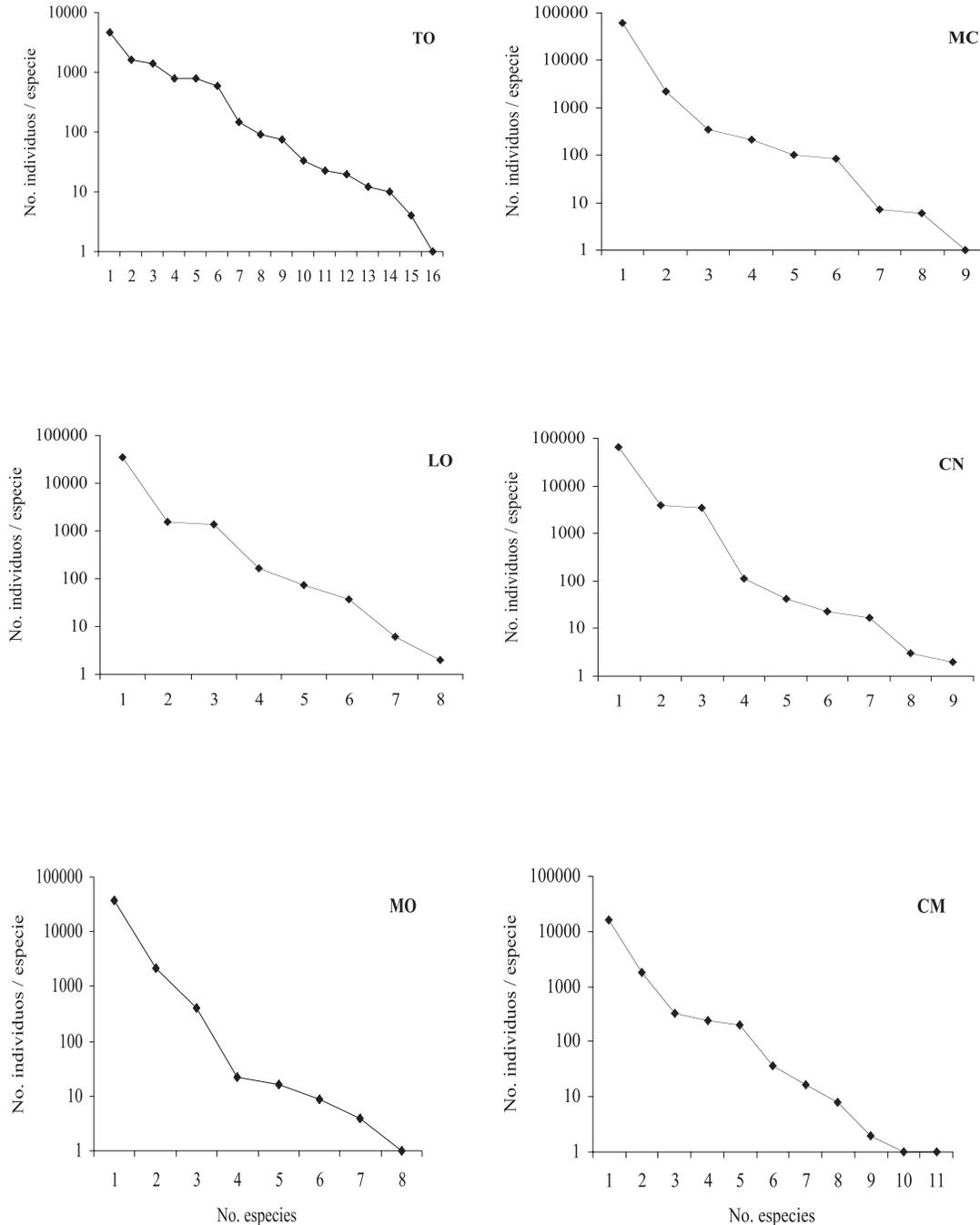


Figura 3. Curvas de abundancia de especies para el total de especies de hormigas en los sistemas de café totalmente orgánico (TO), levemente orgánico (LO), medianamente orgánico (MO), medianamente convencional (MC), convencional (CN) y comercial (CM). CATIE, Turrialba. Costa Rica. 2001.

P. radoszkowskii fue la segunda especie predominante en todos los sistemas, aunque en general sus valores fueron bajos, de apenas 3-10% del total de individuos, dependiendo del sistema (Cuadro 2). Sin embargo, en el sistema TO alcanzó el 46%, e incluso superó a *S. geminata*. Para los cuatro sistemas ubicados en la parcela experimental, los valores fueron de apenas 3-5%, y no hubo un contraste claro entre los sistemas convencionales y los orgánicos; sus números fueron más parecidos entre los sistemas MO y MC que entre LO y CN.

P. cocciphaga, la tercera especie predominante en todos los sistemas, en general mostró valores muy ba-

jos, de apenas 1-5% del total de individuos (Cuadro 2), pero en el sistema TO alcanzó el 13%, cercano al de *S. geminata* (16%). Para los cuatro sistemas ubicados en la parcela experimental tampoco hubo un contraste claro entre los sistemas convencionales y los orgánicos; sus números fueron más parecidos entre los sistemas MO y MC que entre LO y CN.

T. paratrachina fue la cuarta especie en importancia, aunque representó solamente el 0,55% del total de individuos capturados en todos los sistemas. Sus valores fueron sumamente bajos, menores de 1% en todos los sistemas, exceptuando el TO (Cuadro 2), donde alcanzó el 8%. Asimismo, *W. auropunctata*, la

Cuadro 2. Números absolutos y porcentuales de individuos de las cinco especies de hormigas más abundantes en los diferentes hábitats de seis sistemas de producción de café en el CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Sistema de producción y hábitat ⁽²⁾	Especie									
	<i>S. geminata</i>		<i>P. radoszkowskii</i>		<i>P. cocciphaga</i>		<i>T. paratrachina</i>		<i>W. auropunctata</i>	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
TO										
C	306	8	2808	75	103	3	62	2	306	8
P	757	20	1443	38	335	9	110	3	453	12
S	561	20	490	17	958	34	607	22	42	1
Total	1624		4741		1396		779		801	
LO										
C	2981	99	22	1	2	0	2	0	0	0
P	10057	82	853	7	1155	9	144	1	0	0
S	21197	96	477	2	414	2	19	0	2	0
Total	34235		1352		1571		165		2	
MO										
C	2950	96	122	4	0	0	0	0	0	0
P	14144	90	1443	9	148	1	14	0	0	0
S	19747	96	541	3	265	1	8	0	4	0
Total	36841		2106		413		22		4	
MC										
C	6712	95	230	3	141	2	4	0	6	0
P	25222	93	1521	6	141	1	86	0	0	0
S	31022	98	427	1	66	0	12	0	0	0
Total	62956		2178		348		102		6	
CN										
C	8028	94	443	5	29	0	0	0	3	0
P	28878	91	1514	5	1148	4	8	0	0	0
S	27605	86	1877	6	2358	7	15	0	0	0
Total	64511		3834		3535		23		3	
CM										
C	5507	78	1079	15	29	0	206	3	241	3
P	4710	88	455	8	69	1	32	1	72	1
S	6180	94	279	4	101	2	8	0	6	0
Total	16397		1813		199		246		319	

⁽²⁾ Hábitats: C = café; P = poró; S = suelo. Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial.

Cuadro 3. Números de especies e individuos, e índices de diversidad (Shannon-Wiener) y equidad de especies de hormigas, para los seis sistemas de café estudiados. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001.

	Sistemas de café ⁽²⁾					
	TO	LO	MO	MC	CN	CM
No. especies	16	8	8	9	9	12
No. individuos	10 357	37 443	39 412	65 889	72 075	19 039
Índice de diversidad	1,68	0,38	0,28	0,22	0,42	0,55
Índice de equidad	0,60	0,18	0,13	0,10	0,19	0,22

⁽²⁾ Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial.

quinta especie en abundancia, representó solamente el 0,46% del total de individuos capturados, y sus valores fueron sumamente bajos, menores de 1% en todos los sistemas, exceptuando el TO y CM.

Las restantes 14 especies recolectadas aparecieron en muy bajas cantidades, que variaron entre dos y 653 individuos (Cuadro 1), por lo que de aquí en adelante se omiten de los análisis específicos referidos a ellas.

De ellas, solamente *Monomorium floricola* y *Brachymyrmex* sp. aparecieron en todos los sistemas, seguidas por *Solenopsis picea*, que lo hizo en TO, MC, CN y CM. Las demás aparecieron en uno o más sistemas. Las especies recolectadas en un solo sistema fueron *Forelius* sp. (TO), *Camponotus novogranadensis* (TO), *Pheidole simonsi* (TO), *Rogeria tonduzi* (TO), *Pachycondyla obscuricornis* (TO) y *Cardiocondyla* sp. (MC). Las que aparecieron en dos sistemas fueron *Azteca* sp. (TO y CM), *Odontomachus chelifer* (TO y CM), *Crematogaster curvispinosus* (TO y CM), *Gnamptogenys striatula* (CN y CM) y *Ectatomma gibbum* (LO y MO). Como se aprecia, casi todas (11) aparecieron en el sistema totalmente orgánico (TO), exceptuando a *G. striatula*, *Cardiocondyla* sp. y *E. gibbum*.

Composición de especies por hábitat

S. geminata fue muy abundante en los tres hábitats (café, suelo y poró), en todos los sistemas (Cuadro 2). Para los cuatro sistemas ubicados en la parcela experimental, sus cantidades fueron muy superiores en el suelo y los árboles de poró que en los arbustos de café. Por el contrario, en los sistemas TO y CM los números fueron más equitativos entre los tres hábitats. Los valores generales de abundancia de *S. geminata* según el hábitat (independientemente del sistema) variaron entre 8-99 (café), 20-93 (poró) y 20-98% (suelo).

Por su parte, *P. radoszkowskii* fue abundante en los tres hábitats, en todos los sistemas. Aunque fue

más abundante en el suelo y los árboles de poró que en el café, para los cuatro sistemas mencionados, sus números fueron más altos en el café para los sistemas CM y TO. Sus valores generales de abundancia según el hábitat variaron entre 0-31 (café), 1-34 (poró) y 1-29% (suelo).

P. cocciphaga mostró una tendencia particular en el sistema TO, pues estuvo presente en todos los hábitats y en mayor cantidad en el suelo con respecto al resto de los hábitats en los demás sistemas. En los demás sistemas tuvo una distribución dispar entre los diferentes hábitats, y predominó en el poró y el suelo. Sus valores generales de abundancia según el hábitat variaron entre 0-46 (café), 1-39 (poró) y 2-57% (suelo).

T. paratrachina tuvo una presencia similar a la especie anterior, y fue muy dispar en todos los hábitats de los diferentes sistemas, pero en el TO su proporción fue mayor. Sus valores generales de abundancia según el hábitat variaron entre 0-75 (café), 2-37 (poró) y 1-91% (suelo). Por último, *W. auropunctata* estuvo presente sobre todo en los sistemas TO y CM. Sus valores generales de abundancia según el hábitat variaron entre 0-43 (café), 0-86 (poró) y 0-78% (suelo).

Diversidad de especies

La mayor riqueza de especies se obtuvo en el sistema TO, seguido por los sistemas CM, CN, MC, LO y MO, respectivamente (Cuadro 3). Sin embargo, el número de individuos en cada sistema no coincidió con esta tendencia general. Su mayor cantidad se observó en el sistema CN, y fue menor en los sistemas que tuvieron más especies, como CM y TO.

El mayor índice de diversidad se obtuvo para el sistema TO, diferenciándose marcadamente del resto (Cuadro 3). Fue seguido por el sistema CM, el cual a su vez superó levemente al CN, LO, MO y MC. En cuanto a la equidad de especies (cantidad de individuos por especie), el índice respectivo aportó el mayor valor también para el sistema TO, contrastando mu-

cho con el resto de los sistemas. Fue seguido por el sistema CM, que superó levemente al CN y al LO, y un poco más al MO y MC. Es decir, se mantuvo la misma secuencia obtenida con el índice de diversidad.

Al considerar la diversidad de especies por hábitat, dentro de cada sistema, se observó que el 37% de las especies estuvieron representadas en el suelo, 36% en los árboles de poró y 27% en los arbustos de café. Para el índice de diversidad, en el sistema TO el poró ocupó el primer lugar, seguido por el suelo y el café (Cuadro 4). El valor obtenido para el poró fue el más alto de todos los hábitats en todos los sistemas, e incluso superó al índice de diversidad del sistema TO. Asimismo, en los cuatro sistemas ubicados en la parcela experimental, casi siempre la secuencia fue poró > suelo > café, excepto en CN, donde el suelo ocupó el primer lugar. Por el contrario, para el sistema CM fue el café el que ocupó el primer lugar, seguido por el poró y el suelo.

Cuadro 4. Índices de diversidad (Shannon-Wiener) para las especies de hormigas, según los hábitats en los seis sistemas de café estudiados. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001.

Sistemas ⁽²⁾	Hábitats ⁽³⁾		
	C	P	S
TO	0,98	1,76	1,62
LO	0,06	0,67	0,21
MO	0,17	0,37	0,20
MC	0,25	0,27	0,14
CN	0,24	0,37	0,50
CM	0,74	0,48	0,30

⁽²⁾ Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial.

⁽³⁾ Hábitats: C = café; P = poró; S = suelo.

Los mayores valores del índice de equidad de especies se obtuvieron para el poró y el suelo en TO (Cuadro 5) y fueron superiores a los de todos los hábitats en todos los sistemas, y también superaron al ín-

Cuadro 5. Índices de equidad para las especies de hormigas, según los hábitats en los seis sistemas de café estudiados. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001.

Sistemas ⁽²⁾	Hábitats ⁽³⁾		
	C	P	S
TO	0,39	0,64	0,63
LO	0,34	0,10	0,24
MO	0,19	0,10	0,13
MC	0,15	0,07	0,15
CN	0,07	0,20	0,24
CM	0,35	0,23	0,13

⁽²⁾ Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial.

⁽³⁾ Hábitats: C = café; P = poró; S = suelo.

dice del sistema TO. En los demás hábitats y sistemas hubo bastante variabilidad; por ejemplo, en dos de los sistemas orgánicos (TO y LO) la secuencia fue poró > suelo > café, mientras que en los demás fue café > poró > suelo (MO y CM), poró > café > suelo (MC) y suelo > poró > café (CN).

Similitud de especies

El índice utilizado reveló que los sistemas más parecidos entre sí fueron los sistemas orgánicos LO y MO, y los convencionales MC y CN (Cuadro 6). Los sistemas más disímiles fueron el TO y los otros dos sistemas orgánicos (LO y MO).

Por su parte, los microhábitats más parecidos entre sí fueron poró-suelo y café-suelo en el sistema TO, seguidos por poró-suelo en los sistemas MO y CN (Cuadro 7). El análisis de conglomerados reveló la existencia de dos grandes grupos, claramente contrastantes, con una distancia de 0,42 (Fig. 4). Uno estuvo conformado por los sistemas TO y CM, y el otro con los cuatro sistemas presentes en la parcela experimental. Dentro del primer gran grupo, la composición de especies de hormigas en los tres microhábitats del sis-

Cuadro 6. Índices de similitud (Jaccard) en la composición de especies de hormigas entre los seis sistemas de café estudiados. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001.

	Sistemas ⁽²⁾					
	TO	LO	MO	MC	CN	CM
TO	—	0,41	0,41	0,47	0,47	0,65
LO		—	1,00	0,70	0,70	0,53
MO			—	0,70	0,70	0,53
MC				—	0,80	0,62
CN					—	0,75

⁽²⁾ Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = Medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial.

tema TO guardó bastante cercanía (0,02) entre ellos. En conjunto, se distanciaron por un valor de 0,11 del valor de las especies en el sistema CM; sin embargo, de estos últimos, curiosamente el valor de especies en el microhábitat del suelo apareció dentro del segundo gran grupo.

Cuadro 7. Índices de similitud (Jaccard) para las especies de hormigas, entre pares de hábitats en cada uno de los seis sistemas de café estudiados. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001.

Sistemas ^(z)	Pares de hábitats ^(y)		
	C-P	C-S	P-S
TO	0,69	0,78	0,88
LO	0,71	0,71	0,00
MO	0,28	0,28	0,75
MC	0,71	0,63	0,63
CN	0,57	0,44	0,75
CM	0,60	0,55	0,55

^(z) Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial.

^(y) Hábitats: C = café; P = poró; S = suelo.

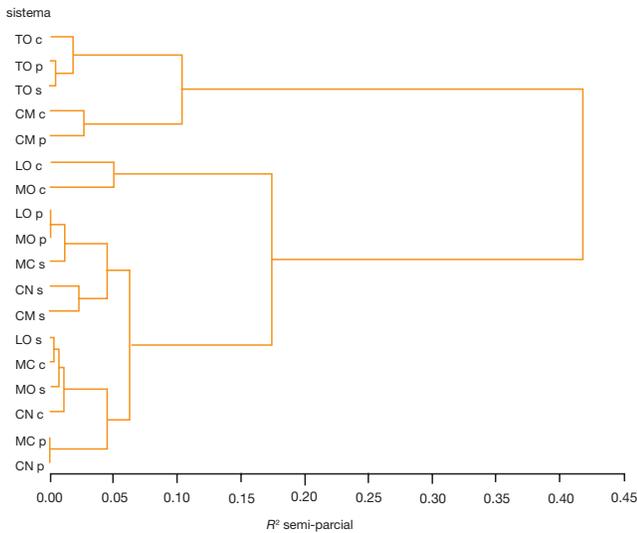


Figura 4. Dendrograma de similitud de especies de hormigas, utilizando el método de correlación (R^2) semi-parcial, por hábitats (café, suelo y poró), en los seis sistemas estudiados. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001. **Sistemas:** TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial. **Hábitats:** C = café; S = suelo; P = poró.

Asimismo, dentro del segundo gran grupo se formaron dos subgrupos en cuanto a la composición de especies, distanciados por un valor de 0,17. Uno de ellos incluyó solamente el microhábitat de café en los sistemas leve (LO) y medianamente orgánico (MO),

que se distanciaron por un valor de 0,06. El otro subgrupo abarcó todos los demás sistemas y microhábitats, distanciados por un valor de 0,07, y a su vez se dividió en dos subgrupos más, el primero de los cuales comprendió microhábitats de solamente poró y suelo en varios sistemas, incluyendo el suelo en el sistema comercial (CM), ya discutido. Por su parte, el segundo sub-subgrupo fue más heterogéneo, ya que incluyó los tres microhábitats estudiados (café, poró y suelo), tanto en los sistemas orgánicos como en los convencionales.

Discusión

En la región de Turrialba no hay una estacionalidad marcada en la precipitación, ya que está en la vertiente del Caribe de Costa Rica. No obstante, el extenso muestreo realizado en este estudio, de siete meses, permitió recolectar un número representativo de especies de hormigas en los cafetales del CATIE, tanto en épocas secas como lluviosas.

Sin embargo, se detectó una menor riqueza de especies de hormigas que en otras zonas productoras de café en Costa Rica. En Heredia, ubicada en la vertiente del Pacífico, en el Valle Central del país, Perfecto y Snelling (1995) recolectaron 30 especies de hormigas en una plantación tradicional con sombra de *E. poeppigiana*, 27 especies en una plantación tradicional con *E. fusca* y cinco especies en una plantación moderadamente sombreada con *E. poeppigiana*. En cambio, en Turrialba hubo solamente 12 especies en el sistema TO, donde había sombra de *E. poeppigiana*, y cinco especies en los sistemas CN y LO. Estos hallazgos sugieren que la mayor precipitación anual en Turrialba (2479 mm, en comparación con los 2182 mm de Heredia) y la ausencia de estacionalidad afectan adversamente ciertas especies y, con ello, influye en la composición de las comunidades de hormigas, aunque otros factores (edáficos, estructura y manejo de las plantaciones, características del paisaje, etc.) podrían haber influido también.

Las tendencias en la abundancia relativa de las especies de hormigas en general fueron congruentes entre los sistemas estudiados y entre los microhábitats dentro de cada sistema, y coincidieron con las que se observan en las comunidades naturales (Krebs 1978, 1989, Magurran 1989), así como en otros insectos presentes en los cafetales (Rojas *et al.* 2001). Es decir, unas pocas especies de hormigas fueron muy abundantes, algunas ocuparon una posición intermedia, y la mayoría estuvo representada por pocos individuos.

Puesto que en las comunidades naturales las especies dominantes se reconocen por su mayor abundancia o biomasa (Krebs 1978, Magurran 1989), las hormigas ubicadas en el primer grupo se pueden considerar como dominantes dentro de la comunidad de hormigas en los cafetales estudiados. En este caso, es posible que lo sean porque aprovechen los recursos disponibles (microhábitats y nutrimentos) en cada sistema mejor que las demás especies, y esta ventaja competitiva les permite incrementar sus poblaciones más rápidamente.

Así, la especie claramente dominante fue *S. geminata*, que alcanzó el 89% de los individuos capturados durante todo el estudio. *P. radoszkowskii* y *P. cocciphaga* ocuparon la segunda y tercera posiciones en todo el estudio y coexistieron con *S. geminata* en los seis sistemas evaluados, por lo que se pueden considerar como especies co-dominantes, y especialmente *P. radoszkowskii*, que dominó en el sistema de café totalmente orgánico (TO).

El análisis global de las comunidades de hormigas asociadas con los diferentes sistemas estudiados reveló que los sistemas TO y CM presentaron la mayor riqueza y diversidad de especies. Esto podría obedecer a factores no estudiados (edáficos, estructura y composición de las plantaciones, manejo agronómico de los cafetales, vegetación circundante, etc.), pero el factor específico más evidente fue la mayor edad de ambos sistemas, de siete y cinco años, respectivamente, en contraste con los sistemas ubicados en la parcela experimental, menores de un año. Asimismo, el análisis de conglomerados reveló la existencia de esos dos grupos contrastantes en cuanto a similitud de especies. La mayor riqueza, equidad y diversidad de especies observadas en el sistema TO posiblemente se explica no tanto por su condición orgánica en sí, sino por su edad y su complejidad estructural. En dicho sistema había grandes árboles de poró, con anchos troncos cubiertos de abundantes líquenes y musgos, donde había hendiduras y hoyos que proporcionan microhábitats para las hormigas. Además, en el sotobosque había muchas plantas de malanga (*Colocasia* sp.) y china (*Impatiens balsamina*), y su composición florística era más o menos estable, nunca perturbada por la aplicación de herbicidas, como ocurrió en el CM.

Por otra parte, el hecho de que 11 de las 16 especies no dominantes aparecieran en dicho sistema y que cinco fueran exclusivas de él sugiere que la estructura y la composición florística del sotobosque aporta-

ron microclimas, microhábitats y recursos (sitios de anidación, cantidad y calidad de alimento vegetal y animal, etc.) para especies con distintos hábitos. Algunas especies predominan en el suelo y otras en la vegetación, donde se alimentan de material en descomposición, de azúcar presente en nectarios extraflorales o en la mielcilla de homópteros sésiles, o de huevos y larvas de insectos y de otros artrópodos (Longino y Hanson 1995).

También, al considerar los valores del índice para la diversidad de especies por microhábitat dentro de cada sistema, en el sistema TO el poró ocupó el primer lugar, y el valor obtenido para el poró en sí incluso superó al de todo el sistema TO. Esto podría obedecer a que, al segregarse los datos por microhábitat, quizás hubo una reducción en el contraste entre los números de individuos por especie; de hecho, para todos los sistemas, los valores de equidad aumentaron en el poró. Estos valores revelan que en el sistema CM la secuencia fue café > poró > suelo, mientras que para los cuatro sistemas en la parcela experimental la secuencia fue poró > suelo > café, excepto en el CN, donde el suelo ocupó el primer lugar. Esta relación se podría explicar en función de los recursos aportados por los componentes del hábitat, así como también por los hábitos de las diferentes especies encontradas. Ahora bien, aunque la dominancia de *S. geminata* fue incuestionable en cinco de los seis sistemas estudiados, en el sistema TO fue ampliamente superada por *P. radoszkowskii*, que alcanzó el 46% de los individuos en dicho sistema, seguida de cerca por *P. cocciphaga* (13%); ahí, *S. geminata* alcanzó apenas el 16%.

Los menores números de *S. geminata* en dicho sistema pueden explicarse con base en algunos de sus requerimientos ecológicos. Esta especie es poco común en sistemas tradicionales de café en Mesoamérica, con árboles de sombra (Perfecto 1994), y la parcela del sistema TO tenía árboles de sombra grandes de poró. Asimismo, el ambiente era muy húmedo y el suelo, de textura franca y oscuro, siempre estaba húmedo y cubierto por un mantillo denso, con un sotobosque de plantas herbáceas de hoja ancha y de algunas gramíneas. Esta parcela se manejó mediante podas intensivas de algunos cafetos (para mejorar la producción, debido a su abandono y deficiente manejo en años previos), y había desde arbustos de café de 1,2 m de altura hasta troncos de apenas 60 cm, pero con rebrotes y abundante follaje.

En el suelo de dicho sistema no se observaron nidos de *S. geminata*, pero fue común detectar a los individuos patrullando entre el musgo adherido a los porós. Es interesante que, a diferencia de los otros sistemas estudiados, ahí predominaron individuos más pequeños (2 mm), en contraste con los de la parcela experimental (4-5 mm) y el CM (5-6 mm). El significado de la presencia diferencial de estos morfos se desconoce, pero podría guardar relación con el papel secundario de *S. geminata* en la jerarquía de dominancia en el sistema TO.

S. geminata predominó fuertemente en los cuatro sistemas representados en la parcela experimental. Asimismo, dentro de esta parcela, sus números en los sistemas convencionales (mayores de 63000 individuos) fueron muy superiores y casi duplicaron a los de los sistemas orgánicos (de hasta 37000 individuos). Sus muy elevados números en la parcela experimental se explican porque *S. geminata* es más común en áreas abiertas, así como más abundante en monocultivos que en plantaciones algo o muy diversificadas (Perfecto 1994), o cuando los agroecosistemas comienzan a modernizarse y, con ello, se eliminan los árboles de sombra (Perfecto 1994); en la parcela se observaron castas con individuos mayores y soldados (hormigas con cabezas grandes y cuerpo engrosado). En términos funcionales, dicha parcela equivalió a una plantación sin sombra, pues tenía apenas cuatro meses cuando se iniciaron los muestreos.

Además, los nidos de *S. geminata* son muy grandes, y típicamente incluyen una extensa área del subsuelo (no mayor de 15 m), lo que les permite mantenerse activas a altas temperaturas (Perfecto 1994). En áreas abiertas, donde las gramíneas colonizan rápidamente, es común que algunas especies de áfidos presentes en sus raíces sean un recurso importante para *S. geminata* (Perfecto 1994).

En realidad, se considera que *S. geminata* es un competidor ineficiente, pues aunque sus individuos son muy móviles, su principal estrategia de alimentación es la protección y defensa de los recursos obtenidos (Perfecto 1994); por ejemplo, fue común observar en el sistema CM, y especialmente en la parcela experimental, cómo esta especie cubría con partículas de tierra parte del cebo colocado en el suelo, lo cual es evidencia de la protección del alimento. Dicha estrategia podría representar una desventaja competitiva cuando los individuos de otra especie remueven o

capturan una presa más rápidamente (Perfecto 1994).

Por el contrario, *P. radoszkowskii*, además de ser una eficiente reclutadora, tiene una mayor capacidad para localizar recursos que *S. geminata* (Perfecto 1994). Aunque, en contraste con las grandes y abundantes colonias de *S. geminata*, las de *P. radoszkowskii* son mucho más pequeñas, su capacidad de reclutamiento es mayor. Este es un mecanismo de comunicación que permite atraer miembros de la misma colonia a sitios donde su trabajo es necesario (Wilson 1971). Dicha especie aparece con frecuencia en hábitats abiertos, recién perturbados, y sus nidos generalmente se encuentran cerca de troncos muertos, en el suelo; además, sus trabajadoras se alimentan sobre la superficie del suelo y en la vegetación baja. Aunque en el presente estudio dicha especie se encontró en todos los hábitats de todos los sistemas evaluados, la abundancia de ramas gruesas sobre el suelo, resultantes de las fuertes podas al poró, en el sistema TO, proporcionó microhábitats favorables para esta especie. Por el contrario, en la parcela experimental no hubo podas, porque el poró era aún joven, y en el sistema CM, aunque hubo tres podas, las ramas eran delgadas (3-6 cm de diámetro) y estaban colocadas alrededor del tronco de los árboles.

En síntesis, hubo contrastes marcados entre los sistemas en cuanto a la composición, riqueza y diversidad de especies de hormigas, con los mayores valores en el sistema TO. No obstante, aunque los factores determinantes de estas diferencias no están lo suficientemente claros, pareciera que los más importantes fueron la edad de los cafetales y la complejidad estructural derivada de esto, no el tipo de manejo (orgánico o convencional).

S. geminata fue la especie dominante en todos los sistemas, con excepción del sistema TO, donde dominó *P. radoszkowskii*. Puesto que ambas pueden ser buenas depredadoras (John T. Longino, obs. pers.), estos hallazgos podrían ser importantes para valorar la posibilidad de aprovecharlas como agentes de control biológico de plagas como la broca del café. No obstante, la información al respecto es prácticamente nula, y está basada en referencias más bien anecdóticas, por lo que se deben efectuar estudios detallados, tanto de laboratorio como de campo, para determinar las preferencias alimentarias de dichas especies hacia plagas claves en sistemas agroforestales mesoamericanos.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó como parte de la tesis de Mag. Sci. de la primera autora, en el CATIE. Se agradece a Sanford Eingenbrode (University of Idaho) sus consejos y apoyo; a Isis Pinto, Carlos Ramírez, Arturo Ramírez, Jorge Valverde, Claudio Arroyo, Judith Perla, Reinhold Muschler y Manuel Gómez, su apoyo logístico; a Christoph Kleinn y Gustavo López su colaboración en aspectos estadísticos.

Literatura citada

- Beer, J; Muschler, R; Kass, D; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- Haggar, J; De Melo, E; Staver, C. 2000. Sostenibilidad y sinergismo en café agroforestal: un estudio de interacciones entre las plagas, la fertilidad del suelo y el estrato árbol. CATIE, Programa Regional MIP/AF. 12 p. (Mimeografiado).
- Krebs, C.J. 1978. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. 2 ed. New York, US, Harper & Row. 678 p.
- _____. 1989. *Ecological methodology*. Nueva York, US, Harper & Row. 654 p.
- Longino, JT; Hanson, PE. 1995. The ants (Formicidae). *In* Hanson, PE; Gauld, ID. eds. *The Hymenoptera of Costa Rica*. Nueva York, US, Oxford University Press and The Natural History Museum. 893 p.
- Magurran, AE. 1989. *Diversity and its measurement*. Londres, UK, Croon Helm. 179 p.
- Perfecto, I. 1994. Foraging behavior as a determinant of asymmetric competitive interaction between two ant species in a tropical agroecosystem. *Oecologia* 98: 184-192.
- _____; Snelling, R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: Ants in coffee plantations. *Ecological Applications* 5(4): 1084-1097.
- _____; Rice, RA; Greenberg, R; Van der Voort, M. 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46(8): 598-608.
- _____; Vandermeer, J; Hanson, P; Cartín, V. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agroecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6: 935-945.
- _____; Castiñeiras, A. 1998. Development of the predaceous ants and their conservation in agroecosystems. *In* Barbosa, P. ed. *Conservation biological control*. Nueva York, US, Academic Press. 396 p.
- Rice, R; Ward, J. 1996. *Coffee, conservation, and commerce in the Western Hemisphere*. Washington DC, US, Smithsonian Migratory Bird Center. 47 p.
- Rojas, L; Godoy, C; Hanson, P; Kleinn, C; Hilje, L. 2001. Hopper (Homoptera: Auchenorrhyncha) diversity in shaded coffee systems of Turrialba, Costa Rica. *Agroforestry Systems* 53(2): 171-177.
- Way, MJ; Khoo, KC. 1992. Role of ants in pest management. *Annual Review of Entomology* 37: 479-503.
- Zar, JH. 1996. *Biostatistical analysis*. 3 ed. New Jersey, US, Prentice-Hall. p. 317-315.
- Wilson, EO. 1971. *The insect societies*. Cambridge, US, The Belknap Press of Harvard University Press. 548 p.