

CATIE Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación

Escuela de Posgraduados

4 MAR 2002
RECIBIDO
Turrialba, Costa Rica

**DIVERSIDAD DE ESPECIES DE HORMIGAS EN SISTEMAS
AGROFORESTALES CONTRASTANTES DE CAFÉ, EN
TURRIALBA, COSTA RICA**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Postgrado. Programa de Educación en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para el grado de

Magister Scientiae

Por
Nadiejda Barbera Castillo

CATIE
Turrialba, Costa Rica
Diciembre, 2001

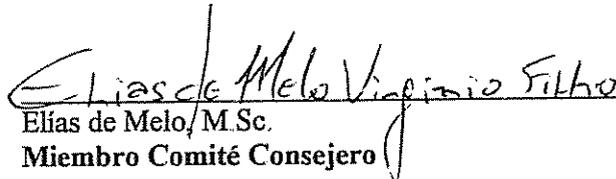
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

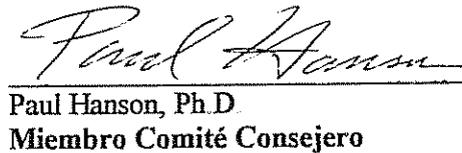
FIRMANTES:



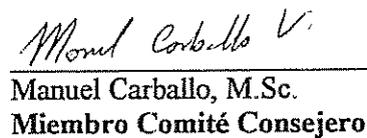
Luko Hilje, Ph.D.
Consejero Principal



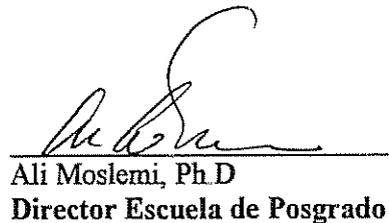
Elias de Melo, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



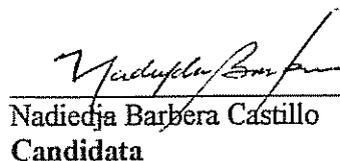
Paul Hanson, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Manuel Carballo, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Ali Moslemi, Ph.D.
Director Escuela de Posgrado



Nadiesja Barbera Castillo
Candidata

Agradecimiento

A Sanford Eigenbrode por su apoyo incondicional en todas las instancias del proceso de identificación de los especímenes.

A Jhon Longino por su valiosa colaboración en la revisión e identificación de los especímenes.

A Paul Hanson por el apoyo en la facilitación de literatura de claves para la identificación de hormigas.

A Cristoph Kleinn por su valiosa colaboración en la planeación del muestreo y aspectos estadísticos.

A Gustavo López por su colaboración en el diseño del modelo experimental y la ejecución, programación y análisis estadístico.

A Judith Perla por la facilitación de literatura y programas de índices de diversidad y similitud.

A Claudio Arrollo por su innovador y excelente propuesta del método de captura de las hormigas.

A Isis Franceschi Pinto, Jorge Valverde, Carlos Ramírez y Arturo Ramírez por su colaboración en la colección y procesamiento de muestras.

A Elías de Melo por su colaboración y apoyo en el desarrollo del ensayo en el ensayo de sistemas agroforestales en café de CATIE-MIP-Agroforestería, en el sector la Bonilla 2.

A Manuel Carballo por sus oportunas sugerencias y colaboración con el desarrollo de la investigación.

A Reinhold Muschler por su colaboración en el desarrollo del ensayo en la finca de producción orgánica de CATIE, en el campus.

A Manuel Gómez por su colaboración en el desarrollo del ensayo en la finca de producción comercial de CATIE, en La Montaña.

A Laura Pla y Aída Colma por su apoyo en la realización de este estudio y, especialmente, por sus ejemplos.

A mi familia y a mis amigos con cuyo apoyo incondicional hicieron posible esta meta

Contenido

	pág
I. Introducción.....	9
1.1 Objetivos: General y Específicos.....	11
1.2 Hipótesis.....	11
II. Revisión de literatura.....	12
2.1 Importancia histórica y socioeconómica del café en América Central.....	12
2.2 Los sistemas de cultivo de café.....	13
2.3 Biodiversidad de la fauna en los cafetales mesoamericanos.....	15
2.4 Diversidad de hormigas en los cafetales mesoamericanos.....	17
2.5 Mirmecofauna en cultivos perennes tropicales.....	18
2.6 El potencial de las hormigas depredadoras en el control biológico de plagas.....	20
III. Materiales y métodos.....	22
3.1 Localización.....	22
3.2 Tratamientos.....	22
3.3 Muestreos.....	24
3.4 Análisis.....	24
IV. Resultados.....	27
4.1 Composición de especies.....	27
4.2 Diversidad de especies.....	37
4.3 Similitud de especies.....	41
4.4 Tendencias poblacionales.....	47
V. Discusión.....	60
Conclusiones.....	72
Recomendaciones.....	73
Literatura citada.....	74
Anexos.....	79

Barbera, N. 2001. Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, en Turrialba. Costa Rica.

Palabras Claves. *Solenopsis geminata*. *Pheidole radoszkowskii*. Café. Diversidad. Costa Rica

Resumen

En el caso de la producción de café, la biodiversidad asociada con la presencia y distribución de la sombra de los cafetales es de gran interés ecológico. El café (*Coffea arabica* L.) se ha sembrado acompañado por árboles de sombra, los cuales cumplen varias funciones importantes, tales como la creación de un microclima favorable para el cultivo, la incorporación de materia orgánica, la fijación de nitrógeno, la circulación de nutrimentos y la disminución de la erosión del suelo. Además, ofrecen hábitats y alimento que favorecen a varios grupos de insectos, incluyendo muchas especies de hormigas. Algunas evidencias demuestran que las hormigas pueden ser eficaces como depredadoras y realmente contribuyan a la gran estabilidad numérica en las poblaciones de herbívoros comúnmente observada en los cafetales de Mesoamérica. Su manipulación oportuna podría contribuir al control biológico no solamente de plagas primarias, como la broca del café (*Hypotenemus hampei*), sino también de plagas de especies asociadas con el café, como en árboles frutales o maderables.

Es necesario el conocimiento de la funcionalidad de las hormigas en los agroecosistemas cafetaleros, y especialmente de las especies que podrían actuar como agentes de control biológico de plagas, para establecer recomendaciones acerca de su conservación o su incremento. Por tanto, se examinaron los patrones de diversidad de especies de hormigas como complemento de otros estudios sobre dichos sistemas en tres fincas de café, las cuales contenían sistemas de producción representativos de un gradiente que abarcaba desde un sistema totalmente orgánico hasta uno comercial, contrastantes en cuanto al uso de insumos.

En el sistema totalmente orgánico se registró la mayor riqueza, equidad y diversidad de especies de hormigas, debido a la edad del cafetal y a su mayor complejidad estructural. *Solenopsis geminata* fue la especie ampliamente dominante en todos los sistemas, con excepción del sistema totalmente orgánico, donde predominó *Pheidole radoszkowskii*. Algunas especies capturadas en este estudio (*W. auropunctata* y *C. curvispinosus*) o afines a ellas (*Solenopsis* spp. y *Brachymyrmex* spp.) tienen potencial como depredadoras de la broca del café, por lo cual se deben efectuar estudios detallados, tanto de laboratorio como de campo, para determinar las preferencias alimentarias de dichas especies hacia las plagas claves indicadas. Una vez efectuado esto, sería necesario estudiar los requerimientos de hábitats de dichas especies, para tratar de optimizarlos, de modo que se pueda lograr su conservación e incremento y, así, su actividad como agentes de control biológico de plagas.

Barbera, N. 2001. Ant diversity in contrast coffee agroforestry systems in Turrialba, Costa Rica.

Key words. *Solenopsis geminata*. *Pheidole radoszkowskii*. Coffee. Diversity. Costa Rica

Abstract

There is a great ecological interest in the biodiversity associated with the presence and distribution of shade in coffee plantations. Coffee has been planted with shade trees that perform various important functions such as creation of a favorable microclimate for plantations, incorporation of organic matter, fixation of nitrogen, circulation of nutrients and erosion control. Also, coffee plantations with shade trees provide a habitat and food for various groups of insects, including many species of ants. Some evidence demonstrate that ants may be efficient predators and may contribute to maintain a stability in the number of herbivore populations that are commonly observed in coffee plantations in Meso-America. An opportune manipulation of ants could contribute to biological control of primary pests, such as coffee berry borer (*Hypotenemus hampei*), and also pests in species that are associated with coffee, such as in fruit trees or timber species.

It is necessary to know the utility of ants in agro-ecosystems of coffee plantations and especially the utility of those ant species that could act as agents for biological pest control in order to give recommendations concerning their conservation or increasing them. For this reason, the patterns of species diversity of ants were examined in three coffee plantations. The three coffee plantations included in the study have production systems that represent a gradient from a totally organic system to a commercial plantation. In this study we characterized diversity ants losses associated with the management practices intensify at coffee yields.

The greatest species richness, evenness and diversity were recorded in the totally organic system, due to the age and the most complex structure of the plantation. *Solenopsis geminata* was a widely dominant species in all of the systems with the exception of the totally organic system in which *Pheidole radoszkowskii* predominated. Some species caught in this study (*W. auropunctata* y *C. curvispinosus*) or others similar to them (*Solenopsis* spp. and *Brachymyrmex* spp.) may act as predators of coffee berry borer. Thus, more detailed laboratory and field research is needed in order to determine the alimentary preferences of these species concerning the key pests indicated in the study. After that it would be necessary to study the habitat requirements of these species in order to optimize their conservation or increasing them and thus to enhance their activity as agents of biological pest control.

Lista de Cuadros.

No.		pág.
1	Manejo e insumos aplicados a los diferentes sistemas de café establecidos por el programa regional MIP/AF en el sector Bonilla 2. (Estación Experimental La Montaña, CATIE).....	23
2	Número total de especies, subfamilias e individuos de hormigas para los seis sistemas.....	28
3	Número total de especies, subfamilias e individuos de hormigas encontrados en los seis sistemas de café estudiados.....	30
4	Número de especies e individuos de hormigas encontrados en diferentes hábitats (café-poró-suelo) de los seis sistemas de café estudiados.....	35, 36
5	Índices de diversidad de especies de hormigas y de equidad para los seis sistemas de café estudiados.....	39
6	Índices de diversidad de especies de hormigas y de equidad, según los hábitats (café-poró-suelo) en los seis sistemas de café estudiados.....	40
7	Índices de similitud de especies de hormigas para los seis sistemas de café estudiados.....	43
8	Índices de similitud de especies de hormigas para los seis sistemas de café en los tres tipos de hábitats.....	44
9	Resumen de relaciones estadísticas para la cantidad de especies e individuos de hormigas, según los sistemas y los hábitats.....	56

Lista de Figuras.

No.		pág.
1	Curvas de abundancia de especies para el total de especies de hormigas en los sistemas de café.....	32,33
2	Curvas de abundancia de especies para el total de especies de hormigas en los diferentes hábitats de café.....	34
3	Dendrograma de similitud de especies de hormigas, utilizando el método de R^2 Semiparcial, por hábitats de los sistemas de café estudiados.....	45
4	Tendencias poblacionales de <i>S. geminata</i> durante el estudio, mediante análisis de regresión y correlación.....	48
5	Tendencias poblacionales de <i>P. radoszkowskii</i> durante el estudio, mediante análisis de regresión y correlación.....	49
6	Tendencias poblacionales de <i>P. cocciphaga</i> durante el estudio, mediante análisis de regresión y correlación.....	50
7	Tendencias poblacionales de <i>T. paratrachina</i> durante el estudio, mediante análisis de regresión y correlación.....	51
8	Tendencias poblacionales de <i>W. auropunctata</i> durante el estudio, mediante análisis de regresión y correlación.....	52
9	Tendencia poblacional de los seis sistemas por hábitat en café.....	55

I. INTRODUCCIÓN

Históricamente, el café (*Coffea arabica* L.) ha jugado un papel determinante en la economía y el desarrollo social en América Central (Samper 1999). Desde sus orígenes en esta región se ha sembrado acompañado por árboles de sombra, los cuales cumplen varias funciones importantes, tales como la creación de un microclima favorable para el cultivo, la incorporación de materia orgánica, la fijación de nitrógeno, la circulación de nutrimentos y la disminución de la erosión del suelo (Beer *et al.* 1998). No obstante, en los últimos decenios se han introducido nuevas variedades que se siembran en monocultivos sin árboles de sombra, sustituyendo el cultivo tradicional agroforestal, aunque también en años recientes se ha dado impulso a nuevos métodos de producción, como el café orgánico (Rice y Ward 1996).

La producción de café mediante una modalidad orgánica 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 *sensu stricto* (Beer *et al.* 1998), contribuyen en algunas funciones menos evidentes, como la de actuar como refugio para aves migratorias durante el invierno en el hemisferio norte (Perfecto *et al.* 1996a).

Asimismo, dicho componente arbóreo puede favorecer a varios grupos de insectos, los cuales pueden alcanzar altos niveles de diversidad en plantaciones con sombra, incluyendo a representantes de los órdenes Coleoptera (Nestel *et al.* 1992), Homoptera (Rojas *et al.* 2000a, 2000b), e Hymenoptera (Perfecto y Snelling 1995, Perfecto y Vandermeer 1994, Perfecto *et al.* 1996b, 1998). Entre este último grupo sobresalen las hormigas, que son un grupo muy diverso en hábitos alimentarios, el cual incluye especies: herbívoras, nectarívoras, semillívoras, detritívoras, depredadoras, cultivadoras de hongos y "ordeñadoras" de áfidos, coleópteros y mariposas (Wheeler 1965). Ello les permite contribuir en procesos claves de los ecosistemas, tales como el mejoramiento del suelo, la circulación de nutrimentos, la polinización 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 (Perfecto y Castiñeiras 1998). Por tanto, es posible que algunas especies de hormigas que incluyen insectos en su dieta contribuyan a la gran estabilidad numérica en las poblaciones de herbívoros comúnmente observada en los cafetales de Mesoamérica (Hilje et al. 1989, Hanson 1991, Cerda et al. 1996), impidiendo que algunas plagas secundarias se conviertan en primarias.

Desde el punto de vista aplicado, es necesario el conocimiento de la funcionalidad de las hormigas en los agroecosistemas cafetaleros, y especialmente de las especies que podrían actuar como agentes de control biológico de plagas, para establecer recomendaciones acerca de su conservación o su incremento. Por tanto, se pretende caracterizar los patrones de diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales de café, contrastantes en cuanto al uso de insumos, como complemento de otros estudios sobre dichos sistemas (Haggard *et al.* 2000).

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Caracterizar la riqueza y diversidad de hormigas presentes en sistemas agroforestales contrastantes de café, con énfasis en las especies depredadoras, como base para mejorar su conservación y aprovechamiento en programas de manejo integrado de plagas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar la diversidad de especies de hormigas presentes en los diferentes sistemas de cafetales.
- Determinar la similitud de especies de hormigas, según los tipos de manejo de los sistemas de café.

1.2 Hipótesis

- La intensificación de las prácticas de manejo en la producción de café causa una reducción de la diversidad de hormigas y especialmente de las especies depredadoras.
- El tipo de manejo de cada sistema de café origina diferencias en la composición de especies de hormigas, y especialmente de las especies depredadoras.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia histórica y socioeconómica del café en América Central

El café fue introducido al Nuevo Mundo por los holandeses en 1723 (Rice y Ward 1996). Esta popular bebida, consumida mundialmente por siglos, constituye uno de los principales recursos de ingreso familiar y de intercambio en muchos países tropicales, y especialmente Latinoamérica (Perfecto *et al.*(a) 1996). Por ello, desde el ingreso y establecimiento del cultivo del café en América Central, ha contribuido notablemente al desarrollo agrícola, social y económico de dicha región (Samper 1999).

Desde el nordeste de Colombia hasta el sur de México, el café ocupa 2.7 millones de hectáreas y cerca de un millón de productores (700.000 de ellos calificados como pequeños productores) trabajan para abastecer el mercado mundial cada año (Rice 1996). En Costa Rica esta actividad genera cerca de 62.000 trabajos permanentes, lo cual representa el 6% de la fuerza laboral del país y el 25% de la fuerza laboral agrícola (ICAFFE 1998).

La economía costarricense ha estado sustentada históricamente en la agricultura y dentro de ésta el café ha sido el cultivo de mayor importancia socioeconómica (Vásquez 1996). Las estadísticas reportadas por la FAOSTAT (2001) demuestran que el área sembrada del cultivo aumentó de 48.000 a 98.000 ha entre 1950 y 1999, y el rendimiento por hectárea fue de 1500 kg/ha en 1999. La contribución de divisas generada por el café durante 1999 fue de 288.70 millones de colones, lo cual significó un 30% de descenso en relación con el año anterior, debido sobre todo a la baja de los precios internacionales, por saturación del mercado (ICAFFE 2000).

El cantón de Turrialba, en la provincia de Cartago, se ha mantenido dentro de los diez primeros lugares de la producción nacional de café, a pesar de que en la temporada 1999-2000 hubo un descenso de 110.000 fanegas, equivalentes a un 42% menos que el año anterior. Ello obedeció a las condiciones climáticas (precipitación) adversas, la incidencia de la enfermedad "ojo de gallo" (*Mycena citricolor*) y el agotamiento normal del cultivo debido al alto volumen registrado en la cosecha anterior (ICAFFE 2000).

El dinamismo de la producción costarricense ha sido fuerte y prolongado, pero ya son pocas las nuevas tierras disponibles para café y no es claro cuánto más podrá intensificarse el cultivo, que ya alcanzó el mayor nivel internacional. Por lo tanto, la exploración continua y participativa de opciones tecnológicas apropiadas para este cultivo revisten una gran trascendencia actual y futura (Samper 1999). Sin embargo, desde diciembre de 2000, el sector cafetalero ha sido afectado por la llegada de la broca (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) al país (ICAFFE 2000). Esta plaga es la más preocupante a nivel mundial, por los altos niveles de infestación y las pérdidas reportadas en rendimientos, superiores al 50% (Dufour *et al.* 1999).

2.2 Los sistemas de cultivo de café

En América Central, históricamente, el café se ha cultivado en formas muy variadas, desde rústicas hasta muy tecnificadas. Ha formado parte de policultivos tradicionales, así como de múltiples asociaciones con dos o más cultivos implicados. También se ha sembrado en numerosas plantaciones con sombra permanente de doble propósito, o con árboles cuya función principal es brindar sombra regulada mediante la poda (Samper 1999).

Rice y Ward (1996) establecieron una tipología para clasificar los sistemas de producción de café, con base en los niveles de sombra y de manejo como indicadores de su intensificación, así: *café rústico* (plantas de café insertas dentro del bosque existente, con poca o ninguna alteración de la vegetación existente), *policultivo tradicional* (de estructura similar al sistema rústico, pero con mayor diversidad de especies cultivadas, de importancia para las familias productoras), *policultivo comercial* (usualmente de mayor extensión que los anteriores, e incluye otros productos que aportan alimentos o ingresos al productor), *sombra especializada* (presenta solo una especie en su dosel, como *Inga* spp., *Erythrina* spp. o *Gliricidia sepium*, de apariencia laminar, cuyo mantenimiento se controla mediante podas) y *café sin sombra* (se omite del todo la sombra, es muy productivo si se suplen sus requerimientos de insumos químicos, y está orientado exclusivamente a la producción de café para el mercado).

En Costa Rica, Perfecto y Snelling (1995) definen dos sistemas comunes de producción de café: el sistema tradicional de bajos insumos, diverso en su composición, y el sistema intensivo de altos insumos, como monocultivo. Las plantaciones tradicionales de café contienen una o varias

especies de árboles de sombra, comúnmente dominados por *Erythrina* spp. e *Inga* spp., los cuales además pueden incluir más de 30 especies de frutales, maderables y otros árboles de sombra utilizados para proteger las variedades tradicionales de café de la humedad y temperaturas extremas, mejorar el contenido de nitrógeno del suelo y diversificar los productos de la finca (Perfecto *et al.* 1997). Por ejemplo, en Turrialba, Costa Rica, Llanderal (1998) clasificó los sistemas cafetaleros existentes, en los siguientes cuatro tipos: *cafetales poco o nada diversificados* (fincas con sombra de poró, laurel, musáceas y macadamia, manejados intensivamente, de donde se obtienen los mayores rendimientos), *cafetales diversificados intensivos* y *cafetales muy diversificados* (ambos tienen sombra mixta y aportan rendimientos similares entre ellos, aunque menores que el primer grupo, pero en los muy diversificados la riqueza de especies y el manejo son mayores); y *cafetales con poco manejo* (con diferentes tipos de sombra, menores costos de producción, menores rendimientos de café y menores ingresos).

La intensificación tecnológica de las plantaciones de café consiste en la eliminación de los árboles de sombra y la sustitución de variedades de café tradicional con nuevas variedades tolerantes al sol y de porte bajo, muy dependientes de productos agroquímicos, y especialmente de herbicidas y fertilizantes (Perfecto y Snelling 1995). En el café a pleno sol no se reducen los costos de producción muy fácilmente en períodos de precios bajos, sin un deterioro sustantivo en el rendimiento potencial de los años posteriores (Haggar *et al.* 2000).

Actualmente, la producción de café orgánico surge como una alternativa al sistema convencional para muchos pequeños productores de café que son productores orgánicos de hecho, o pasivos porque no pueden costear el uso de productos agroquímicos (Rice y Ward 1996). Este sistema de producción se basa en la conservación y mejoramiento de la fertilidad del suelo mediante técnicas e insumos compatibles con el ambiente, prohibiendo el uso de productos agroquímicos, fomentando el uso de la energía y el estímulo a la biodiversidad vegetal y animal (ANACAFE 1999). Así se promueve la capacidad de generar un ingreso estable y aceptable (Fernández y Muschler 1999) debido a la creciente demanda por productos orgánicos, a los altos costos de los productos agroquímicos y a la necesidad de incrementar la rentabilidad por unidad de área cultivada (Gómez 1995).

Así, un verdadero sistema de producción moderno es aquel que ofrezca beneficios al productor, con una producción sostenible y bajos costos a largo plazo, y que a la vez mantenga o mejore la

biodiversidad, proteja el suelo de la erosión, y evite la contaminación química y la inhibición de la recirculación natural de nutrientes (Rice y Ward 1996).

2.3 Biodiversidad de la fauna en los cafetales mesoamericanos

En la actualidad, con los nuevos paradigmas de producción agrícola, se considera como un desafío el mantenimiento de los elementos de la biodiversidad (flora y fauna) dentro de los sistemas agrícolas, incluyendo niveles importantes de insectos benéficos (Starý y Pike 1999).

En el caso de la producción de café, la biodiversidad asociada con la presencia y distribución de la sombra de los cafetales es de gran interés ecológico. Por ejemplo, en Mesoamérica se ha documentado que la sombra presente en las fincas tradicionales protege el suelo y actúa como refugio para cierta biodiversidad, como las aves migratorias y residentes, insectos y otros invertebrados, reptiles y mamíferos, los cuales pueden utilizar los árboles de sombra para su refugio o alimentación (Rice y Ward 1996).

En cuanto a insectos, se ha observado que pueden alcanzar altos niveles de diversidad en plantaciones con sombra, lo cual se ha documentado para representantes de los órdenes Coleoptera (Nestel *et al.* 1992), Homoptera (Rojas *et al.* 2001a, 2001b), e Hymenoptera (Perfecto y Vandermeer 1994, Perfecto y Snelling 1995, Perfecto *et al.* 1996b, 1998). Por ejemplo, en Turrialba, Rojas *et al.* (2001a) reportaron mayor diversidad de especies de chicharritas (Auchenorrhyncha) en sistemas mixtos de café (café-poró y café-poró-laurel) que en el café a pleno sol, registrándose 131 especies correspondientes a 10 familias, incluyendo cuatro especies nuevas para la ciencia.

En realidad, en América Central se conoce poco de la entomofauna presente en los cafetales, con excepción de las especies que actúan como plagas primarias o secundarias, como lo son la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), el minador de la hoja, *Perileucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae), varios homópteros, como algunas escamas (Coccidae) y cochinillas o piojos harinosos (Pseudococcidae), jobotos, *Phyllophaga* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae), y la mosca del Mediterráneo, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). Aunque hoy se reconoce la importancia de identificar el tipo de biodiversidad que se pretende

incrementar o mantener mediante las prácticas de manejo adecuadas, incluyendo el control biológico de plagas, la circulación de nutrimentos, y la conservación del agua y el suelo (Altieri y Nicholls 2000), el conocimiento de la entomofauna benéfica (biodiversidad funcional) presente en los cafetales es casi nulo.

También se acepta que la mayoría de los atributos estructurales del agroecosistema, como la diversidad vegetal y los niveles de insumos, se relacionan con la biodiversidad y podrían ser manipulados mediante asociaciones y rotaciones de cultivos, para influir en la diversidad y dinámica poblacional de insectos entomófagos (depredadores y parasitoides) (Altieri y Nicholls 2000). En el caso de los cafetales, generalmente el sistema moderno de producción (sin sombra) incluye el uso de productos agroquímicos que disminuyen la diversidad biológica del sistema (Perfecto y Vandermeer 1994). Además, al eliminarse los árboles de sombra, la carencia de follaje, flores, frutos y nectarios extraflorales origina una fuerte reducción de varios grupos de himenópteros, debido a la pérdida de alimento aportado por los árboles, la simplificación del hábitat que ofrece el follaje de las copas, troncos y plantas epífitas (Perfecto *et al.* (a) 1996).

De hecho, la gran complejidad estructural de las plantaciones de café tradicional crea hábitats y nidos para una gran diversidad de organismos, y los árboles de sombra aportan una gran variedad de alimentos para organismos herbívoros, frugívoros y nectarívoros (Perfecto *et al.* (b) 1996). Por ejemplo, en la copa de un solo árbol de poró (*E. poeppigiana*) se han registrado hasta 30 especies de hormigas, 103 especies de otros himenópteros y 125 especies de escarabajos, y en otro árbol las cifras correspondieron a 27, 61 y 110 especies, respectivamente. Aunque ambos árboles estaban a apenas 200 m de distancia, el traslape de especies fue de solamente 14% para escarabajos y 18% para hormigas. Asimismo, estas cifras pueden representar niveles de diversidad equivalentes a los de árboles presentes en bosques no perturbados (Perfecto *et al.* (a) 1996).

Por tanto, desde la perspectiva de la biodiversidad funcional importante en el manejo de plagas en café, podría esperarse que, como consecuencia de la eliminación de los árboles de sombra, algunas especies de insectos entomófagos resultaran afectadas, y decreciera así su papel como agentes de control biológico de plagas potenciales. Uno de estos grupos serían las hormigas depredadoras.

2.4 Diversidad de hormigas en los cafetales mesoamericanos

Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) son un grupo muy diverso en hábitos alimenticios, el cual incluye especies herbívoras, nectarívoras, semillívoras, detritívoras, depredadoras, cultivadoras de hongos y "ordeñadoras" de áfidos, coleópteros y mariposas (Wheeler 1965). Ello les permite contribuir en procesos claves de los ecosistemas, tales como el mejoramiento del suelo, la circulación de nutrimentos, la polinización y la regulación de las poblaciones de insectos herbívoros (Way y Khoo 1992).

En los ecosistemas tropicales, la mayoría de las hormigas son generalistas u omnívoras. Su principal recurso alimenticio consiste en trozos pequeños de restos de vegetación caídos al suelo, así como en organismos sedentarios pequeños o de movimientos lentos, como huevos, larvas y pupas de insectos (Perfecto 1994).

Muchos agroecosistemas en Mesoamérica están dominados por especies de hormigas generalistas, como *Solenopsis geminata* y *Pheidole radoszkowskii*. Estas se encuentran en un ámbito que incluye desde sistemas de maíz en las zonas bajas del Pacífico de Nicaragua hasta plantaciones de café en México y América Central ubicadas a elevaciones intermedias, encontrándose una o ambas especies en abundancia (Perfecto 1994). Por ejemplo, en un sistema tradicional de café, Perfecto y Vandermeer (1994) encontraron 12 especies de hormigas que se alimentan en el suelo, en una finca que no mostró especies dominantes, mientras que en una finca moderna hallaron apenas cinco o seis especies y siempre predominaron *S. geminata* y *P. radoszkowskii*.

En años recientes, los agroecosistemas de café en Mesoamérica han sufrido una dramática transformación, que ha alterado notoriamente la estructura de la comunidad de hormigas. Por ejemplo, comunidades con 10-12 especies se han reducido a 2-6 especies cuando el sistema agroforestal tradicional de café se ha cambiado hacia un monocultivo (Perfecto 1994). Una posible causa de esta pérdida son los cambios microclimáticos provocados por la ausencia de la sombra, la cual elimina algunas especies y permite a otras dominar en la comunidad (Perfecto y Vandermeer 1996).

Asimismo, Benítez y Perfecto (1989) documentaron la contribución de los árboles de sombra al enriquecimiento de la mirmecofauna de cafetales, al hallar 13 especies en el café bajo sombra de poró (*E. poeppigiana*), en contraste con seis especies en el café sin sombra. En café sembrado en monocultivo se encontró una mirmecofauna muy pobre, con dos especies (*S. geminata* y *P. radoszkowskii*) que son muy dominantes en agroecosistemas anuales, los cuales posiblemente representan una etapa temprana de sucesión en las comunidades de hormigas.

Puesto que los árboles de sombra en los cafetales ofrecen hábitats y alimento para muchas especies de hormigas (Perfecto *et al.* 1996) y algunas de éstas quizás actúen como depredadoras, su conservación podría contribuir al control biológico de plagas. En realidad, el hecho de que algunas hormigas depredadoras sean generalistas y además incluyan otros rubros en su dieta (Longino y Hanson 1995), ha dado origen a la creencia de que las hormigas no son eficientes como agentes de control biológico.

Sin embargo, algunas evidencias demuestran que pueden ser eficaces como depredadoras (Perfecto y Castiñeiras 1998) y realmente contribuyan a la gran estabilidad numérica en las poblaciones de herbívoros comúnmente observada en los cafetales de Mesoamérica (Hilje *et al.* 1989, Hanson 1991, Cerda *et al.* 1996), impidiendo que algunas plagas secundarias se conviertan en primarias. Pero, además, su manipulación oportuna podría contribuir al control biológico no solamente de plagas primarias, como la broca del café, sino también de plagas de especies asociadas con el café, como en árboles frutales o maderables.

2.5 Mirmecofauna en cultivos perennes tropicales

Existen muchos casos documentados sobre la diversidad de hormigas en varios agroecosistemas tropicales, entre los que sobresalen los miembros del género *Oecophylla*, que son depredadores de insectos que afectan al coco, palma aceitera, cacao, café, cítricos, mango, eucalipto y otros árboles maderables (Perfecto y Castiñeiras 1998).

Uno de estos ejemplos se presenta en el este de África, donde la mirmecofauna en fincas de coco es muy rica. Se han estimado más de 250 especies presentes, dominadas por miembros de los géneros *Oecophylla*, *Crematogaster* y *Tetramorium* (Bigger 1993). En Sri Lanka, Way (1951)

registró mayores cosechas de nueces sanas en plantas de coco ocupadas por *Oecophylla* spp., en contraste con palmas vecinas no ocupadas y con cosechas de nueces pequeñas, severamente barrenadas. Otros estudios citan 11 especies de hormigas que anidan en el espádice de las palmas y que depredan o interfieren con la depredación de los huevos del gusano defoliador del coco *Opisina arenosella* (Xyloryctidae) puestos en las hojas; una de estas especies dominantes, que es reconocida como agente de control biológico, es *Monomorium floricola* (Way et al. 1989).

Asimismo, se ha dado considerable atención al rol de las especies de hormigas que son dominantes, en la distribución y limitación de ciertas plagas o patógenos entre árboles cultivados. Frecuentemente, aunque no siempre, dichas hormigas juegan un mejor rol con otros componentes de la comunidad, incluyendo a plantas, hongos y otros animales (Majer 1993). Algunos ejemplos de Brasil y Ghana muestran cómo la mirmecofauna arbórea puede influenciar localmente algunos componentes de la comunidad, incluyendo los siguientes: muchas especies de hormigas, pertenecientes a algunas subfamilias específicas, visitan los nectarios extraflorales y confieren así protección a las plantas (Brasil); ciertas especies de hormigas construyen "jardines" en sus nidos, ubicados en numerosas especies de plantas epífitas, como resultado de la dispersión de sus semillas dentro de los nidos (Brasil); muchas especies de hongos entomopatógenos infectan a hormigas, pero dentro de un ámbito restringido de géneros o tribus (Ghana); y como resultado de diferentes grados de especialización, cada especie de hormiga dominante está asociada con diferentes especies de hormigas no dominantes (Ghana).

Gilbert (1989) consideró el mosaico de hormigas como un carácter principal biótico organizacional, el cual moldea la composición de las especies y la diversidad de la biota. En cultivos de cacao en Nueva Guinea, ciertos invertebrados exhiben distribuciones que están influenciadas por los mismos regímenes de sombra que influye sobre las especies dominantes de hormigas (Majer 1996). Por ejemplo, la hormiga benéfica *Macromischoides aculeatus* parece inherentemente requerir una densa cobertura de un cultivo como el coco, mientras *Oecophylla* spp., si está libre de competencia con otras hormigas, puede también prosperar donde la sombra es relativamente escasa (Way y Khoo 1992). Además, este mosaico puede ser también afectado por el manejo del cultivo. Por ejemplo, Way y Khoo (1991) reportaron a *Tapinoma* sp. como abundante únicamente en varias plantaciones de cacao intensivamente tratadas con piretroides pues, al parecer, estos insecticidas dañan a las hormigas dominantes, como *D. thoracicus*,

permitiendo a *Tapinoma* spp. ser más abundante; *Tapinoma* spp. no protege al cacao de *H. theobromae*, como lo hace *D. thoracicus* (Way et al. 1989).

2.6 El potencial de las hormigas depredadoras en el control biológico de plagas

Una publicación china, escrita en el 304 AD cita que los nativos de Jiao-Zhi vendían en el mercado hormigas almacenadas en sacos que contenían los nidos. Este es el ejemplo más conocido de control biológico que aún se practica, después de 1700 años (Way y Khoo 1992).

Según Risch y Carrol (1982), los atributos más importantes de las especies de hormigas como agentes de control biológico son:

- a. Responden bien a la densidad de presa.
- b. Pueden permanecer abundantes aun cuando la presa sea escasa, porque pueden alimentarse de su prole y, además, utilizar la producción de miel de homópteros como un recurso continuo de energía.
- c. Pueden almacenar alimentos y, por tanto, continuar la captura de presas aun cuando ésta no es inmediatamente necesaria.
- d. Pueden ser manejadas para mejorar su abundancia, distribución y contacto con sus presas.

La organización social y el comportamiento alimentario de algunas hormigas depredadoras les permite reaccionar rápidamente ante el incremento de la densidad de presas, haciéndolas útiles en la protección de cultivos y manteniendo las plagas en baja densidad (Way y Khoo 1992, Majer et al. 1994).

Asimismo, algunas hormigas pueden repeler a otros organismos, quizás mediante repelentes químicos, como por ejemplo *Anoplolepis longipes*, que puede excluir de su territorio a algunos vertebrados y a otros animales grandes, en contraste con *Oecophylla* spp., las cuales son mucho más agresivas; sin embargo, *A. longipes* no ataca a muchos organismos pequeños, incluyendo a insectos plaga, que *Oecophylla* spp. mata. Por su parte, *Dolichoderus thoracicus* ocasionalmente

perturba a plagas, trasladando sus huevos de un lugar a otro, pero sin alimentarse de ellas (Way y Khoo 1992).

En general, la presencia constante de altas poblaciones de hormigas depredadoras en el campo les faculta para mantener las plantas con bajas densidades de plagas. Por ejemplo, *Oecophylla longinoda* protege todo el año contra el chinche *Pseudotheraptus wayi* (Coreidae), el cual puede causar daños catastróficos a las palmas de coco cuando sus enemigos naturales habituales resultan ineficientes (Way y Khoo 1992).

El control biológico por medio del incremento o conservación de los enemigos naturales puede implicar una regulación de especies de plagas a largo plazo, con el apropiado manejo agrícola del agroecosistema, garantizando así un ambiente apropiado para incrementar la abundancia y la eficiencia de depredadores a bajo costo y con mínimo impacto ambiental (Altieri y Nicholls 2000).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 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 Atlántica, a 9°52' N, 83°38' O y 590 msnm. Los valores anuales promedio de precipitación, temperatura y humedad relativa son 2479 mm, 21,7°C y 87%, respectivamente (CATIE 2000). Aunque no existe estacionalidad marcada en la precipitación, ésta disminuye entre enero y abril y se incrementa en junio, julio, noviembre y diciembre.

3.2 Tratamientos

La investigación se efectuó en tres fincas de café, las cuales contenían sistemas de producción representativos de un gradiente 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) (Anexo 1).

El primer sistema (totalmente orgánico) estaba representado por una parcela de café (var. Caturra) de 4 ha, de siete años de edad, ubicada dentro del campus del CATIE (Anexo 2). Además del café, contenía árboles de poró (*Erythrina poeppigiana*, Fabaceae), los cuales fijan nitrógeno y aportan sombra. 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 ha sido efectuado manualmente, debido a sus bajas poblaciones.

Los sistemas LO, MO, MC y AC estaban en la Estación Experimental La Montaña (sector Bonilla 2) en una parcela experimental (var. Caturra) de 9 ha, subdividida en siete tipos de tratamientos (Anexo 3), incluyendo combinaciones de diferentes especies de árboles (de servicio, maderables o fijadores de nitrógeno), con varios niveles de insumos (convencionales y

orgánicos). Las actividades realizadas en ellas durante el presente estudio aparecen detalladas en el Anexo 5. Dicha parcela fue establecida en octubre de 2000, como parte de las actividades del Programa Regional MIP/AF (con sede en CATIE, Nicaragua) (Haggar *et al.* 2000). Todos contenían árboles de poró, y difirieron en los niveles de insumos, así:

Cuadro 1. Manejo e insumos aplicados a los diferentes sistemas de café establecidos por el Programa Regional MIP/AF en el sector Bonilla 2 (Estación Experimental La Montaña, CATIE).

	Levemente orgánico (LO)	Medianamente orgánico (MO)	Medianamente convencional (MC)	Convencional (CN)
Tipos de enmiendas del suelo	Pulpa de café	Pulpa de café, gallinaza y piedra mineral molida	Fertilizante químico (15 g/ planta, de 10-30-10)	Fertilizante químico (30 g/ planta, de 10-30-10)
Manejo de enfermedades	No	Aplicaciones foliares de productos botánicos y biológicos	Uso infrecuente de fungicidas comerciales	Uso calendarizado de fungicidas comerciales
Manejo de insectos	Recolección granos en post-cosecha	Aplicaciones foliares de productos botánicos y biológicos, prácticas agrícolas	Prácticas agrícolas y uso infrecuente de insecticidas convencionales	Prácticas agrícolas y uso frecuente de insecticidas convencionales
Manejo de malezas	2-4 deshierbas manuales	Manejo selectivo con prácticas agrícolas en la calle y callejón limpio	Manejo selectivo con prácticas manuales y herbicidas en la calle y callejón limpio	Suelo desnudo, tratado con herbicidas

Fuente: Haggar *et al.* (2000)

El último sistema (comercial) correspondió a una parcela bajo producción comercial (var. Costa Rica 95) de 7 ha, de 5 años de edad, dentro de la Estación Experimental La Montaña (Anexo 4). En ésta existen árboles de poró. El manejo consistió en la descumbra de los árboles de poró 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 el herbicida Roundup, y en setiembre se aplicó una combinación de Roundup, Goal y Gardoprín.

3.3 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 absorbente (28 cm²), que se sumergía desde la víspera en una solución de atún en aceite vegetal.

Para cada sistema se eligieron cinco sitios de muestreo, aleatoriamente. En cada uno, y para cada fecha de muestreo, se colocaron trampas en cada uno de tres hábitats (un arbusto de café, un árbol de poró y el suelo de la parcela). Las trampas se adherían al arbusto de café o poró con una tachuela (aproximadamente a 30 cm del suelo) o se colocaban sobre el suelo, durante 30 min.

Para cada fecha se efectuaron tres réplicas de cada muestreo. En las fincas grandes, con los sistemas totalmente orgánico (TO) y comercial (CM), las réplicas se hicieron en tres áreas diferentes de cada finca, las cuales eran delimitadas y marcadas desde el inicio del experimento. Para los otros cuatro sistemas (en la parcela experimental del Programa Regional MIP/AF) esto se hizo en tres parcelas (unidades experimentales) diferentes. Por tanto, para cada fecha se contó con 270 muestras, subdivididas en 45 por cada sistema y 15 por hábitat (café, poró y suelo).

Las muestras se depositaron individualmente en bolsas plásticas y se trasladaron al laboratorio, donde se colocaron en una refrigeradora, para inmovilizar a 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, Dr. John T. Longino (The Evergreen State College, Olympia, Washington).

3.4 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 de cada componente dentro de cada sistema agroforestal, se construyó la curva de abundancia de especies, y posteriormente se determinó su *diversidad*, mediante los índices de Shannon-Wiener, Margalef y Simpson (Krebs 1989, Magurran 1989). Para determinar la *similitud* de especies se utilizaron los índices de Jaccard, Sorensen, Simpson y Morisita.

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, Magurran 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 y 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).

Para determinar las tendencias poblacionales de las especies de hormigas a lo largo del tiempo, se efectuó un consolidado de los números de individuos en todos los sistemas, para cada una de las cinco especies principales. Este se relacionó, mediante análisis de regresión y correlación, con la precipitación, cuyos promedios quincenales se obtuvieron de la estación meteorológica del CATIE (Anexo 6).

Para analizar el efecto de la precipitación sobre la abundancia de las cinco primeras especies hormigas, se consideraron los valores de precipitación acumulados entre tres fechas consecutivas de muestreo, hasta: a) la fecha específica de cada muestreo; b) dos semanas antes de cada muestreo. Puesto que los resultados de la prueba de regresión múltiple aportaron coeficientes de determinación de 0,10-0,006 y 0,33-0,015, respectivamente, se eligió la primera opción.

Además se hizo un análisis de varianza (ANDEVA) para detectar las diferencias entre los números de especies e individuos en los distintos sistemas, dado el hecho de que la interacción entre ambas variables de estudio (sistema y hábitat) resultó significativa (Anexo 5). Se hizo el análisis de medias ajustadas (H_0 : media ajustada i = media ajustada j) y así establecer las diferencias importantes entre los tratamientos (sistemas). El diseño fue en parcelas divididas en el tiempo, cuyo modelo fue el siguiente:

$$Y_{ijkm} = \mu + \rho_i + \gamma_j + \beta_k + \rho\gamma_{ij} + \rho\beta_{ik} + \gamma\beta_{jk} + \rho\gamma\beta_{ijk} + \varepsilon_{ijkm}$$

donde:

$\rho =$ Sistema

$\beta =$ Error en la parcela grande

$\gamma =$ Hábitat

$m =$ Muestreo

$\varepsilon =$ Error de la parcela pequeña

IV. RESULTADOS

4.1 Composición de especies

Durante los siete meses de muestreo se capturaron 244.215 hormigas en los seis sistemas estudiados, pertenecientes a 19 especies, las cuales se ubican en 16 géneros y cuatro subfamilias (Cuadro 2). De éstas, miembros de dos subfamilias fueron comunes en los seis sistemas: *Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii*, *P. cocciphaga*, *Wasmannia auropunctata* (Myrmicinae) y *Tapinoma paratrachina* (Dolichoderinae).

En todos los sistemas, la subfamilia más abundante fue Myrmicinae, que estuvo representada por 242.419 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 con mayor número de individuos fue Dolichoderinae (1395 individuos y tres especies), seguida por Formicinae (353 individuos y dos especies) y Ponerinae (50 individuos y cuatro especies).

El sistema con el mayor número de especies fue el totalmente orgánico (16) (TO), seguido por los sistemas comercial (CM), convencional (CN), medianamente convencional (MC), levemente orgánico (LO) y medianamente orgánico (MO), con 12, 9, 9, 8, 8 especies, respectivamente (Cuadro 3). Sin embargo, el número de individuos en cada sistema no coincidió con esta tendencia. Su mayor cantidad se observó en el sistema CN (72.075 individuos), seguido por el MC (65.889), MO (39.412), LO (37.443), CM (19.039) y TO (10.357); es decir, fue menor en los sistemas (CM y TO) que tuvieron más especies.

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 (LO, MO, MC y CN) ubicados en la parcela experimental del sector Bonilla, en la Estación La Montaña. En éstos, sus números fueron mayores en los

Cuadro 2. 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%

sistemas convencionales (con 62.956 en MC y 64.511 individuos en CN) que en los sistemas orgánicos (con 34.235 en LO y 36.841 individuos en MO).

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 3). Sin embargo, en el sistema TO alcanzó el 46%, e incluso superó a *S. geminata*. Para los cuatro sistemas ubicados en la parcela experimental del sector Bonilla, 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 (2106 y 2178 individuos, respectivamente) que entre LO y CN (1352 y 3834 individuos, respectivamente).

P. cocciphaga, que fue la tercera especie predominante en todos los sistemas, en general mostró valores muy bajos, de apenas 1-5% del total de individuos (Cuadro 3), pero en el sistema TO alcanzó el 13%, cercano al de *S. geminata* (16%). Para los cuatro sistemas ubicados en la parcela del sector Bonilla tampoco hubo un contraste claro entre los sistemas convencionales y los orgánicos; sus números fueron más parecidos entre los sistemas MO y MC (413 y 348 individuos, respectivamente) que entre LO y CN (1571 y 3535 individuos, respectivamente).

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 3), donde alcanzó el 8%. Asimismo, *W. auropunctata*, que fue la 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 (8%) y CM (2%).

Las restantes 14 especies recolectadas aparecieron en muy bajas cantidades, que variaron entre 653 y 2 individuos (Cuadro 2). 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),

Cuadro 3. Número de especies, subfamilias e individuos de hormigas encontrados en los seis sistemas de café estudiados. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001

Especie	Subfamilia	TO		LO		MO		MC		CN		CM	
		No.	%										
<i>Solenopsis geminata</i>	Myrmicinae	1624	16	34235	91	36841	93	62956	96	64511	90	16397	86
<i>Pheidole radoszkowskii</i>	Myrmicinae	4741	46	1352	4	2106	5	2178	3	3834	5	1813	10
<i>Pheidole cocciphaga</i>	Myrmicinae	1396	13	1571	4	413	1	348	1	3535	5	199	1
<i>Tapinoma paratrachina</i>	Dolichoderinae	779	8	165	0	22	0	102	0	23	0	246	1
<i>Wasmannia auropunctata</i>	Myrmicinae	801	8	2	0	4	0	6	0	3	0	319	2
<i>Solenopsis picea</i>	Myrmicinae	595	6	0	0	0	0	1	0	41	0	16	0
<i>Monomorium floricola</i>	Myrmicinae	10	0	75	0	16	0	206	0	2	0	36	0
<i>Brachymyrmex</i> sp.	Formicinae	12	0	37	0	9	0	85	0	109	0	8	0
<i>Rogeria tonduzi</i>	Myrmicinae	149	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Camponotus novogranadensis</i>	Formicinae	93	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pheidole simonsi</i>	Myrmicinae	76	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Azteca</i> sp.	Dolichoderinae	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Forelius</i> sp.	Dolichoderinae	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Odontomachus chelifer</i>	Ponerinae	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Gnaptogenis striatula</i>	Ponerinae	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	1	0
<i>Cardiocondyla</i> sp.	Myrmicinae	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0
<i>Ectatomma gibbum</i>	Ponerinae	0	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pachycondyla obscuricornis</i>	Ponerinae	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Crematogaster curvispinosus</i>	Myrmicinae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Total individuos		10357	100	37443	100	39412	100	65889	100	72075	100	19039	100
Total especies		16		8		8		9		9		12	

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

Crematogaster curvispinosus (TO y CM), *Gnamptogenis 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*.

Al considerar la composición de especies por hábitat, dentro de cada sistema, también las curvas de abundancia relativa mostraron tendencias parecidas entre sí, indicando que unas pocas especies de hormigas fueron muy abundantes, mientras que la mayoría estuvo representada por pocos individuos (Fig. 2).

S. geminata fue muy abundante en los tres hábitats, en todos los sistemas (Cuadro 4). Para los cuatro sistemas ubicados en la parcela experimental del sector Bonilla, en la Estación La Montaña (LO, MO, MC y CN), sus cantidades fueron muy superiores en el suelo y los árboles de poró que en los arbustos de café (Cuadro 4). Por ejemplo, de 34.235 individuos capturados en el sistema LO, su distribución porcentual fue de 62 (suelo), 29 (poró) y 8% (café), mientras que de 64.511 individuos capturados en el sistema CN los valores correspondieron a 45 (poró), 43 (suelo) y 12% (café). Por el contrario, en los sistemas TO y CM los números fueron más equitativos entre los tres hábitats; de 1624 individuos capturados en el TO, su distribución fue de 46 (poró), 34 (suelo) y 19% (café), mientras que en el CM los 16.397 individuos capturados se distribuyeron en 38 (suelo), 33 (café) y 29% (poró). 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 los arbustos de café, para los cuatro sistemas mencionados, sus números fueron más altos en el café para los sistemas CM y TO (Cuadro 4). Por ejemplo, de 1352 individuos capturados en el sistema LO, su distribución porcentual fue de 35 (suelo), 63 (poró) y 2% (café), mientras que de 3834 individuos capturados en el sistema CN los valores correspondieron a 49 (suelo), 39 (poró) y 12% (café). En los sistemas TO y CM los números fueron 6554 entre los tres hábitats; de 4741 individuos capturados en el TO, su distribución fue de 59 (café), 30 (poró) y 11% (suelo) mientras que en el CM los 1813 individuos capturados se distribuyeron en 60 (café), 25 (poró) y 15% (suelo). Los valores generales de abundancia de *P. radoszkowskii* según el hábitat, variaron entre 0-31% (café), 1-34% (poró) y 1-29% (suelo).

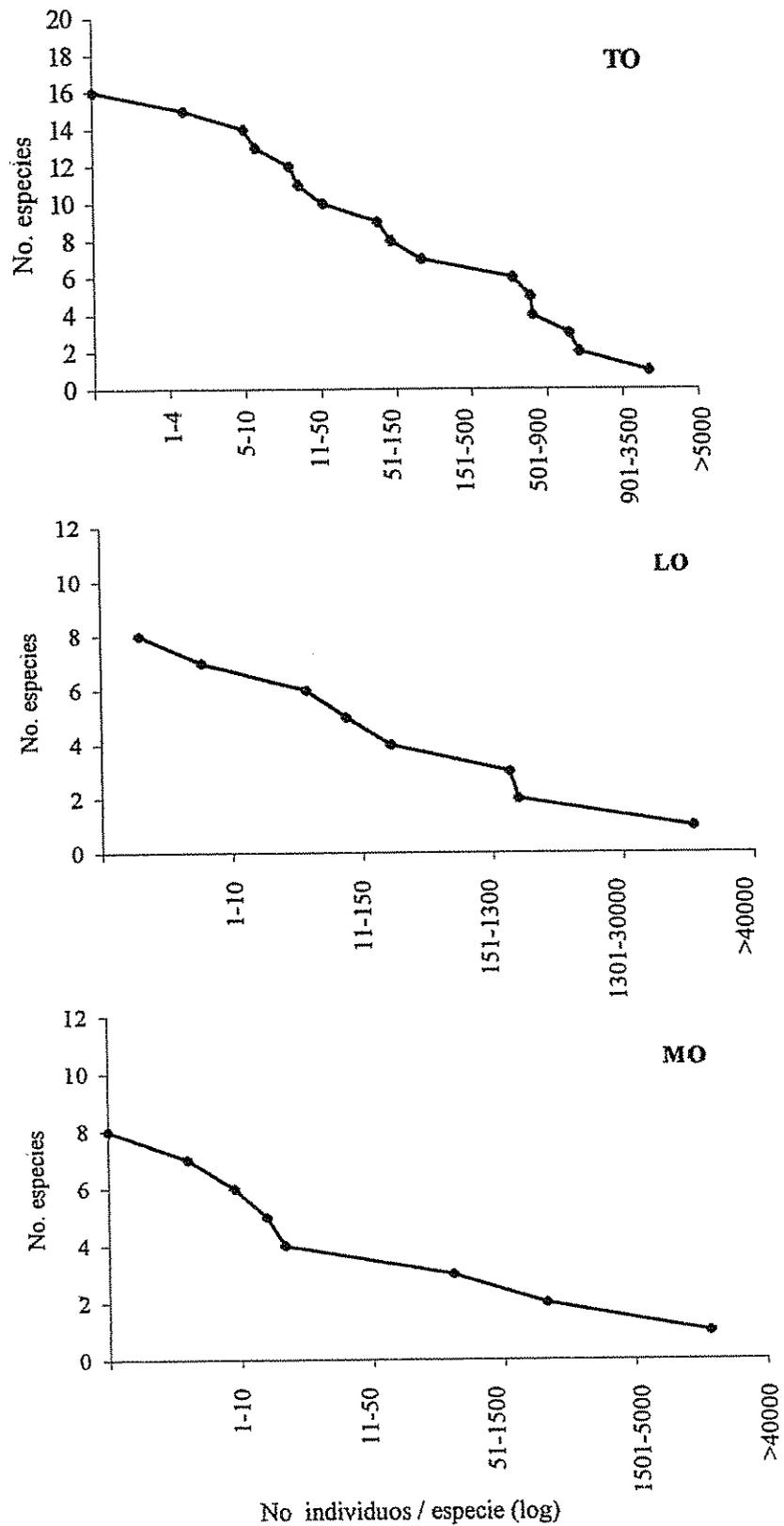


Figura 1. Curvas de abundancia de especies para el total de especies de hormigas en los sistemas de café totalmente orgánico (TO), levemente orgánico (LO), medianamente orgánico (MO), medianamente convencional (MC), convencional (CN) y comercial (CM). CATIE. Turrialba, Costa Rica 2001.

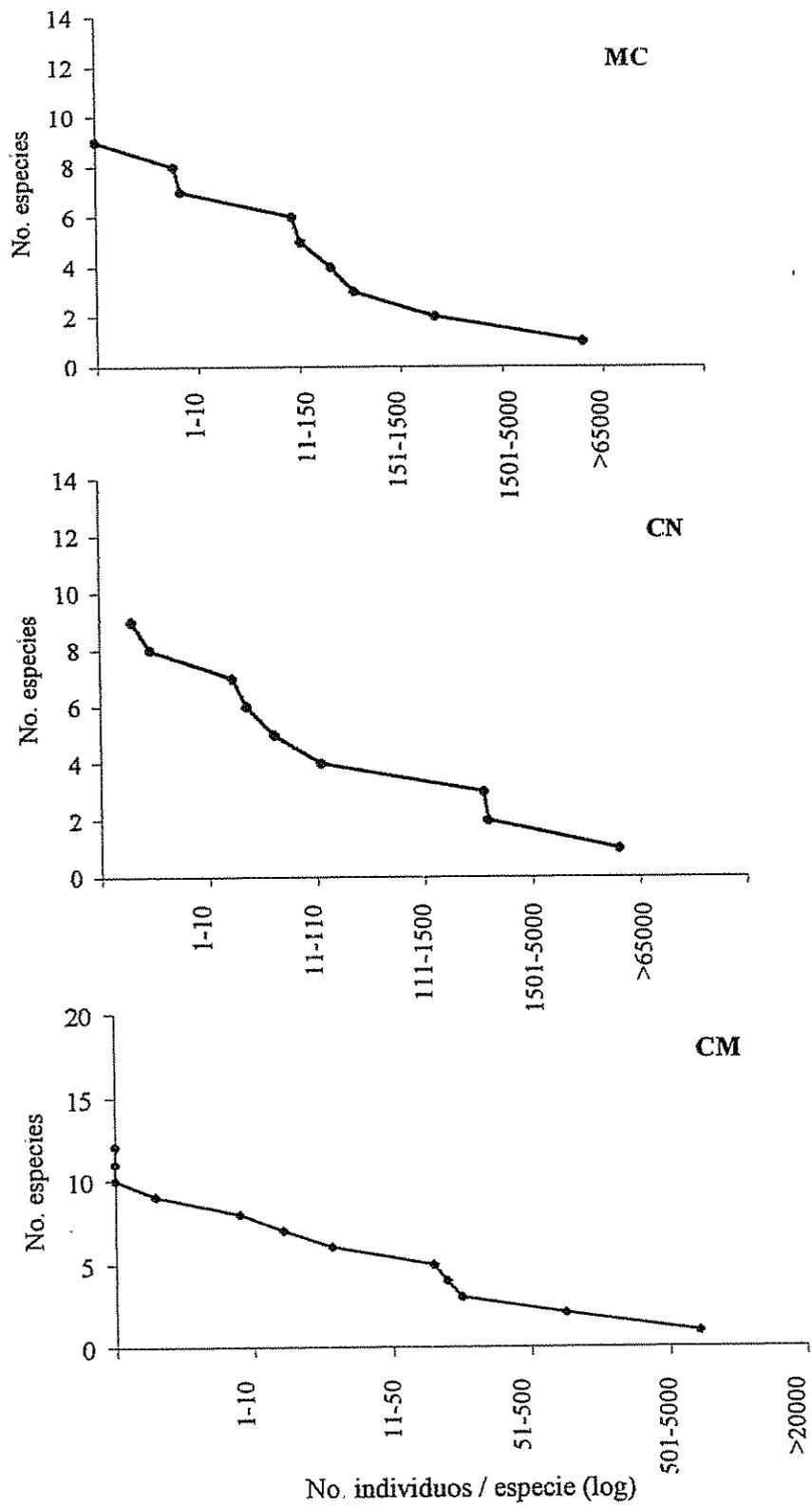


Figura 1. Continuación

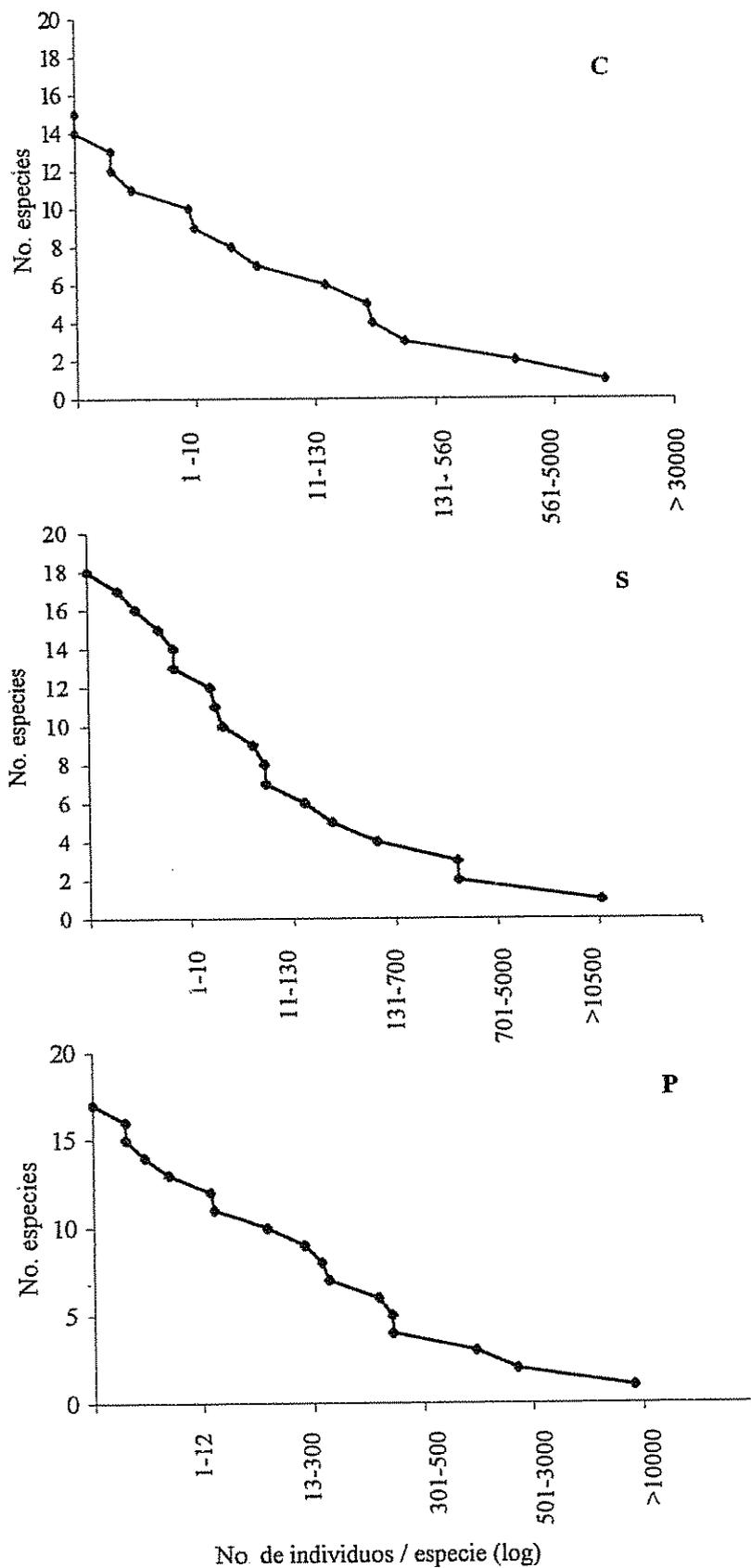


Figura. 2 Curvas de abundancia de especies para el total de especies de hormigas en los diferentes hábitats café (C), suelo (S) y poró (P) de los sistemas de café estudiados. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001.

Cuadro 4. Número de especies e individuos de hormigas encontrados en diferentes hábitats (café- poró- suelo) de los seis sistemas de café estudiados. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001.

Especie	TO						LO						MO					
	C		P		S		C		P		S		C		P		S	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
<i>Solenopsis geminata</i>	306	8	757	20	561	20	2981	99	10057	82	21197	96	2950	96	14144	90	19747	96
<i>Pheidole radoszkowskii</i>	2808	75	1443	38	490	17	22	1	853	7	477	2	122	4	1443	9	541	3
<i>Pheidole coeciphaga</i>	103	3	335	9	958	34	2	0	1155	9	414	2	0	0	148	1	265	1
<i>Tapinoma paratrachina</i>	62	2	110	3	607	22	2	0	144	1	19	0	0	0	14	0	8	0
<i>Wasmannia auropunctata</i>	306	8	453	12	42	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	4	0
<i>Solenopsis picea</i>	116	3	475	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Monomorium floricola</i>	10	0	0	0	0	0	0	0	75	1	0	0	0	0	8	0	8	0
<i>Brachymyrmex</i> sp.	0	0	12	0	0	0	0	0	21	0	16	0	0	0	1	0	8	0
<i>Rogeria tonduzi</i>	9	0	139	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Camponotus novogranadensis</i>	2	0	38	1	53	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pheidole simonsi</i>	33	1	2	0	41	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Azteca</i> sp.	0	0	12	0	21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Forelius</i> sp.	3	0	13	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Odonotomachus chelifer</i>	0	0	5	0	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gnamptogenis striatula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cardiocondyla</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ectatomma gibbum</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	3	0	0	0	1	0	0	0
<i>Pachycondyla obscuricornis</i>	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Crematogaster curvispinosus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total individuos	3759	100	3796	100	2802	100	3008	100	12307	100	22128	100	3072	100	15759	100	20581	100
Total especies	12		15		13		5		7		7		2		7		7	

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

Continuación. Cuadro 4.

Especie	MC						CN						CM					
	C		P		S		C		P		S		C		P		S	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
<i>Solenopsis geminata</i>	6712	95	25222	93	31022	98	8028	94	28878	91	27605	86	5507	78	4710	88	6180	94
<i>Pheidole radoszkowskii</i>	230	3	1521	6	427	1	443	5	1514	5	1877	6	1079	15	455	8	279	4
<i>Pheidole cocciphaga</i>	141	2	141	1	66	0	29	0	1148	4	2358	7	29	0	69	1	101	2
<i>Tapinoma paratrachina</i>	4	0	86	0	12	0	0	0	8	0	15	0	206	3	32	1	8	0
<i>Wasmannia auropunctata</i>	6	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	241	3	72	1	6	0
<i>Solenopsis picea</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	40	0	1	0	6	0	10	0	0	0
<i>Monomorium floricola</i>	0	0	0	0	206	1	0	0	0	0	2	0	10	0	0	0	26	0
<i>Brachymyrmex</i> sp.	2	0	29	0	54	0	8	0	51	0	50	0	0	0	5	0	3	0
<i>Rogeria tonduzi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Camponotus novogranadensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pheidole simonsi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Azteca</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Forelius</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Odontomachus chelifer</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Gnamptogenus striatula</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	1	0
<i>Cardiocondyla</i> sp.	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ectatomma gibbum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pachycondyla obscuricornis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Crematogaster curvispinosus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Total individuos	7095	100	27000	100	31794	100	8511	100	31639	100	31925	100	7080	100	5354	100	6605	100
Total especies	6		6		7		5		6		8		8		8		9	

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

P. cocciphaga mostró una tendencia particular en el sistema TO, pues estuvo presente en todos los hábitats y en mayor cantidad en el suelo (34%) con respecto al resto de los hábitats en los demás sistemas; de 1396 individuos capturados, su distribución porcentual fue de 69 (suelo), 24 (poró) y 7% (café). En los demás sistemas tuvo una distribución dispar entre los diferentes hábitats, y predominó en el poró y el suelo. De 3535 individuos capturados en el sistema CN, los valores correspondieron a 7 (suelo), 4 (poró) y 0% (café); en el LO, con 1571 individuos, su distribución fue de 9 (poró), 2 (suelo) y 2% (café); en el MC, con 348 individuos, fue de 2 (café), 1 (poró) y 0% (suelo); y en el CM, con 199 individuos, fue de 2 (suelo), 1 (poró) y 0% (café). Los valores generales de abundancia de *P. cocciphaga* según el hábitat, variaron entre 0-46.4 (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, pues de 779 individuos capturados en el TO, su distribución fue de 14 (poró), 78 (suelo) y 8% (café); para el CM, con 246 individuos, fue de 3 (suelo), 84 (café) y 13% (poró); en el LO, con 165 individuos, fue de 11 (suelo), 88 (poró) y 1% (café); en el CN, con 23 individuos, fue de 35 (poró), 65 (suelo) y 0% (café). Los valores generales de abundancia de *T. paratrachina* según el hábitat, variaron entre 0-75 (café), 2-37 (poró) y 1-91%(suelo).

Por último, *W. auropunctata* estuvo presente en los sistemas TO y CM. Su proporción para cada hábitat fue de 801 individuos capturados en el TO, su distribución fue de 57 (poró), 5 (suelo) y 38% (café); en el CM, con 319 individuos, fue de 2 (suelo), 76 (café) y 22% (poró). Para el resto de los sistemas tuvo una distribución variable en proporción y distribución entre los diferentes hábitats. Por ejemplo, los únicos dos individuos capturados en el sistema LO, aparecieron en el suelo, mientras que los tres individuos capturados en el sistema CN aparecieron en el café. Los valores generales de abundancia de *W. auropunctata* según el hábitat variaron entre 0-43 (café), 0-86 (poró) y 0-78% (suelo).

4.2 Diversidad de especies

De las 19 especies de hormigas recolectadas, la mayor riqueza de especies se obtuvo en el sistema TO (16), seguido por el CM (12), CN (9), MC (9), LO (8) y MO (8), y los dos sistemas

que mostraron la mayor riqueza de especies (TO y CM) fueron los que tuvieron valores más altos para los tres índices de diversidad calculados (Cuadro 5).

En el caso del índice de Shannon-Wiener el sistema TO ocupó el primer lugar (1,68), diferenciándose marcadamente del resto. Fue seguido por el sistema CM (0,55), el cual a su vez superó levemente al CN (0,42), LO (0,38), MO (0,28) y MC (0,22).

Para el índice de Margalef, el sistema TO también ocupó el primer lugar (1,62), seguido por el sistema CM (1,12), pero ambos se diferenciaron claramente del resto. En los dos sistemas convencionales (MC y CN) se alcanzó el mismo valor (0,72), el cual superó levemente al de los dos orgánicos (LO y MO), donde también se alcanzó un mismo valor (0,66).

Por su parte, para el índice de Simpson el sistema TO también ocupó el primer lugar (3,74), diferenciándose mucho del resto. También fue seguido por el sistema CM (1,33), el cual superó al CN (1,24), LO (1,19), MO (1,14) y MC (0,91), en la misma secuencia obtenida con el índice de Shannon-Wiener.

En cuanto a la equidad de especies (cantidad de individuos por especie), el índice respectivo aportó el mayor valor para el sistema TO (0,60), contrastando mucho con el resto de los sistemas. Fue seguido por el sistema CM (0,22), que superó levemente al CN (0,19) y al LO (0,18), y un poco más al MO (0,13) y MC (0,10). Es decir, se mantuvo la misma secuencia obtenida con el índice de Shannon-Wiener.

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 (Cuadro 2).

Para el índice de Shannon-Wiener, en el sistema TO el poró ocupó el primer lugar (1,76), seguido por el suelo (1,62) y el café (0,98) (Cuadro 6). 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, que fue de 1,68. Asimismo, en los cuatro sistemas ubicados en la parcela del sector Bonilla (LO, MO, MC y CN), casi siempre la secuencia fue poró > suelo > café, excepto en CN,

Cuadro 5. Índices de diversidad de especies de hormigas y de equidad para los seis sistemas de café estudiados. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001.

Índices	TO	LO	MO	MC	CN	CM
Shannon Weiner	1.68	0.38	0.28	0.22	0.42	0.55
Margalef	1.62	0.66	0.66	0.72	0.72	1.12
Simpson	3.74	1.19	1.14	0.91	1.24	1.33
Equidad	0.60	0.18	0.13	0.10	0.19	0.22

TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico;
 MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial.

Cuadro 6. Índices de diversidad de especies de hongos y de equidad, según los hábitats (café, poró, suelo) en los seis sistemas de café estudiados. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001.

Índices	TO			LO			MO			MC			CN			CM		
	C	P	S	C	P	S	C	P	S	C	P	S	C	P	S	C	P	S
Shannon Weiner	0.98	1.76	1.62	0.06	0.67	0.21	0.17	0.37	0.20	0.25	0.27	0.14	0.24	0.37	0.50	0.74	0.48	0.30
Margalef	1.34	1.70	1.51	0.50	0.60	0.60	0.12	0.62	0.60	0.56	0.49	0.58	0.44	0.48	0.64	0.79	0.82	0.91
Simpson	1.74	4.46	4.25	1.02	1.47	1.08	1.08	1.23	1.08	1.11	1.14	1.05	1.12	1.19	1.32	1.59	1.28	1.14
Equidad	0.39	0.64	0.63	0.34	0.10	0.24	0.19	0.10	0.13	0.15	0.07	0.15	0.07	0.20	0.24	0.35	0.23	0.13

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

donde el suelo ocupó el primer lugar. Por el contrario, para el sistema CM fue el café el que ocupó el primer lugar (0,74), seguido por el poró (0,48) y el suelo (0,30).

Por su parte, para el índice de Margalef, en los sistemas orgánicos (TO, LO y MO) el poró ocupó el primer lugar, seguido por el suelo y el café, aunque algunas diferencias entre estos hábitats fueron leves. El valor obtenido para el poró en el TO (1,70) fue el más alto de todos los hábitats en todos los sistemas, y también superó al índice del sistema TO, que fue de 1,62. En los sistemas convencionales (MC, CN y CM), el suelo ocupó el primer lugar, casi siempre seguido por el poró y el café, excepto en MC, donde el café superó al poró.

En cuanto al índice de Simpson, en los sistemas orgánicos (TO, LO y MO), así como en el MC, el poró ocupó el primer lugar, mientras que el suelo y el café mostraron diferencias leves o nulas. Los valores obtenidos para el poró (4,46) y el suelo (4,25) en TO fueron superiores a los de todos los hábitats en todos los sistemas, y también superaron al índice del sistema TO, que fue de 3,74. En los sistemas restantes, ambos convencionales (CN y CM), la situación varió mucho, pues en el primero la secuencia fue suelo > poró > café, y en el segundo fue café > poró > suelo.

En relación con la equidad de especies, los mayores valores del índice se obtuvieron para el poró (0,64) y el suelo (0,63) en TO, y fueron superiores a los de todos los hábitats en todos los sistemas, y también superaron al índice del sistema TO, que fue de 0,60. En los demás hábitats y sistemas hubo bastante variabilidad, pues por ejemplo en dos de los sistemas orgánicos (TO y LO) la secuencia fue poró > suelo > café, mientras que en las otras fue café > poró > suelo (MO y CM), poró > café > suelo (MC) y suelo > poró > café (CN).

4.3 Similitud de especies

Al comparar la composición de especies de hormigas entre sistemas, el índice de Sorensen reveló que los sistemas más parecidos entre sí fueron los dos sistemas orgánicos ubicados en la parcela del sector Bonilla (LO y MO), con un valor de 0,97 (Cuadro 7). Ellos fueron cercanamente seguidos por los dos sistemas convencionales

presentes en dicha parcela (MC y CN) (0,95). Además, los sistemas más disímiles fueron el totalmente orgánico (TO) y el convencional (CN) (0,25), así como el TO y el medianamente convencional (MC) (0,27). Hubo un grupo intermedio, con valores que variaron entre 0,75-0,65, donde se agruparon los pares MO-MC, LO-MC, TO-CM, LO-CM, MO-CN, LO-CN y MO-CM. El tercer grupo comprendió valores que variaron entre 0,44-0,41, el cual que incluyó los pares MC-CM, TO-LO, CN-CM y TO-MO.

Por su parte, el índice de Jaccard coincidió con el de Sorensen en que los sistemas más parecidos entre sí fueron los sistemas orgánicos LO y MO (1,00), así como los sistemas convencionales MC y CN (0,80). Pero en este caso los sistemas más disímiles fueron el totalmente orgánico (TO) y los otros dos sistemas orgánicos (LO y MO), con un valor de 0,41 para ambos. En el grupo intermedio, que tuvo valores de 0,75-0,62, se agruparon los pares CN-CM, LO-MC, LO-CN, MO-MC, MO-CN, TO-CM y MC-CM. El tercer grupo comprendió valores de 0,53-0,47, e incluyó los pares LO-CM, MO-CM, TO-MC y TO-CN (Anexo 7).

Finalmente, el índice de Morisita aportó el valor máximo (1,00) a nueve pares de sistemas, entre los que estuvieron aquellos que habían ocupado la primera posición según los índices de Sorensen y Jaccard, es decir, los sistemas orgánicos LO y MO (1,00) y los sistemas convencionales MC y CN (1,00). Estos fueron seguidos muy de cerca por el par MC-CM (0,99). Los sistemas más disímiles siempre involucraron al totalmente orgánico (TO), contra todos los demás sistemas, con valores de 0,36-0,28.

Al analizar la similitud de especies de hormigas según el hábitat, dentro de cada sistema, el índice de Sorensen reveló que los hábitats más parecidos entre sí fueron el poró y el suelo en los sistemas convencional (CN) (0,95), medianamente convencional (MC) (0,88) y medianamente orgánico (MO) (0,82) (Cuadro 8); sin embargo, en los sistemas totalmente orgánico (TO) y levemente orgánico (LO) las especies de hormigas presentes en el poró y el suelo tuvieron poca (0,49) o ninguna similitud (0,00), respectivamente. En el sistema comercial (CM) todas las comparaciones (café-poró, café-suelo y poró-suelo) aportaron un valor alto, idéntico (0,85). Con excepción del sistema TO, en que la comparación del café-poró (0,62) superó a la del café-suelo (0,32), los valores de ambas comparaciones siempre fueron cercanos.

Cuadro 7. Índices de similitud de especies de hormigas para los seis sistemas de café estudiados. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001.

Índices	TO						LO						MO						MC						CN					
	LO	MO	MC	CN	CM	CM	MC	CN	CN	CM	CM	CM	MC	CN	CN	CM	CM	CM	MC	CN	CN	CM	CM	CM	MC	CN	CN	CM	CM	CM
Sorensen	0.43	0.41	0.27	0.25	0.70	0.70	0.97	0.72	0.68	0.70	0.75	0.70	0.65	0.95	0.95	0.65	0.70	0.44	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Jaccard	0.41	0.41	0.47	0.47	0.65	0.65	1.00	0.70	0.70	0.53	0.70	0.70	0.53	0.80	0.80	0.53	0.70	0.62	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Morisita	0.30	0.30	0.28	0.32	0.36	0.36	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial.

Cuadro 8. Índices de similitud de especies de hormigas, para los seis sistemas de café, en los tres tipos de hábitats. C.A.T.I.E. Turrialba. Costa Rica. 2001.

Índices	TO			LO			MO			MC			CN			CM			
	C-P	C-S	P-S																
Sorensen	0.62	0.32	0.49	0.24	0.24	0.00	0.33	0.26	0.82	0.42	0.42	0.36	0.88	0.42	0.42	0.95	0.85	0.85	0.85
Jaccard	0.69	0.78	0.88	0.71	0.71	0.00	0.28	0.28	0.75	0.71	0.63	0.63	0.63	0.57	0.44	0.75	0.60	0.55	0.55
Morisita	0.79	0.40	0.63	0.30	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.97	1.00

TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial. C= café; P= poró; S= suelo.

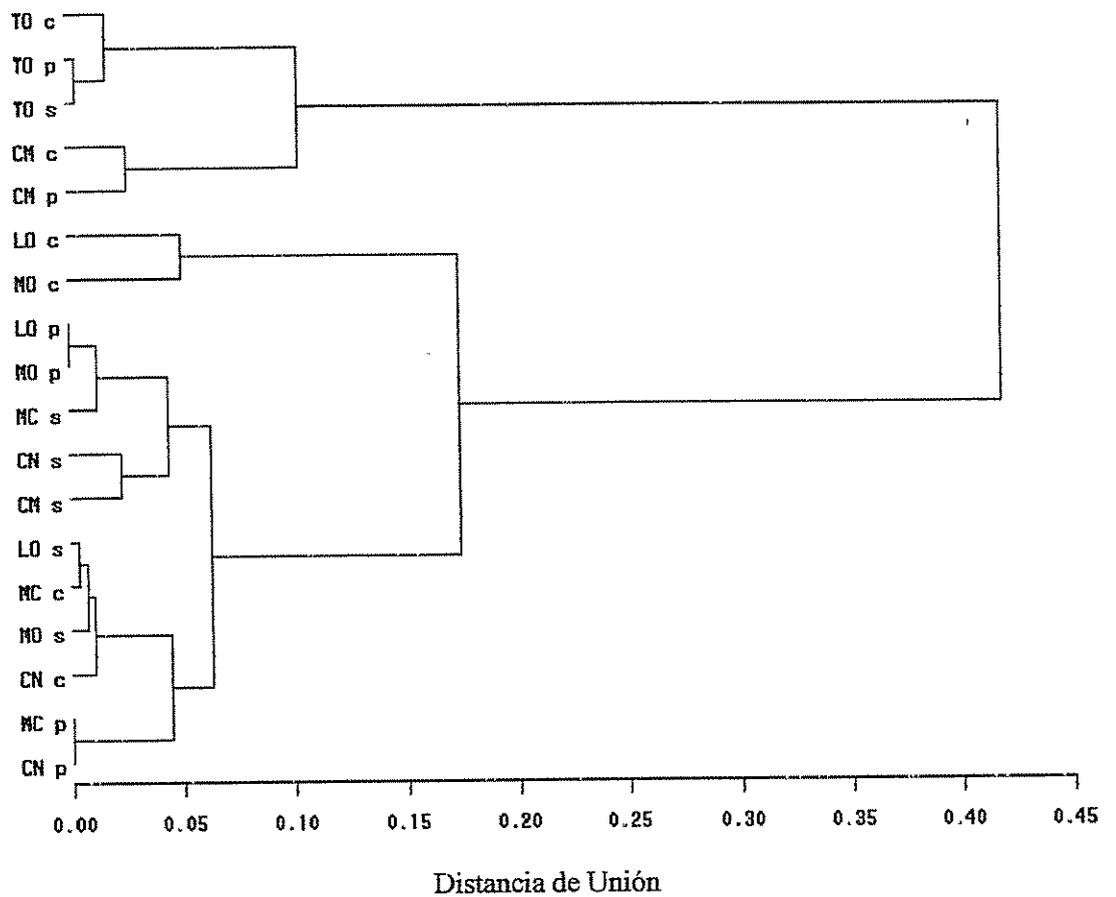


Figura 3. Dendrograma de similitud de especies de hormigas, utilizando el método de R^2 Semi-parcial, por hábitats (café, poró, suelo) de los seis sistemas de café estudiados. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001. Simbologías: Sistemas: TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico; MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial. Hábitats: c = café; p = poró; s = suelo.

Por su parte, el índice de Jaccard contrastó bastante con el de Sorensen. Los hábitats más parecidos entre sí fueron poró-suelo (0,88) y café-suelo (0,78) en el sistema TO, seguidos por poró-suelo en los sistemas MO (0,75) y CN (0,75). Hubo un grupo intermedio, que tuvo valores de 0,71-0,55, en el que se agruparon los pares de hábitats café-poró de todos los sistemas, excepto el MO (TO, LO, MC, CN y CM), café-suelo (LO, MC y CM) y poró-suelo (MC y CM). El tercer grupo comprendió valores de 0,44-0,00, e incluyó los pares café-suelo en CN y MO, así como café-poró (MO) y poró-suelo (LO).

En cuanto al índice de Morisita aportó el valor máximo (1,00) a 11 pares de hábitats en diferentes sistemas, los cuales fueron seguidos muy de cerca por tres pares con valores de 0,97-0,99. Es decir, en todos los sistemas excepto dos orgánicos (TO y LO), no hubo diferencias entre la composición de hormigas entre los hábitats. En el primero, cuyos valores fueron bajos, la secuencia de la similitud fue café-poró > poró-suelo > café-suelo, mientras que en el segundo se presentó la menor similitud (0,30) de todos los hábitats en todos los sistemas.

Como un criterio complementario de los índices, el análisis de conglomerados reveló la existencia de dos grandes grupos, claramente contrastantes, con una distancia de 0,42 (Fig. 3). Un grupo estuvo conformado por los sistemas totalmente orgánico (TO) y comercial (CM), y el otro con los cuatro sistemas presentes en la parcela experimental del sector Bonilla.

Dentro del primer gran grupo, la composición de especies de hormigas en los tres hábitats del sistema totalmente orgánico (TO) guardó bastante cercanía ($\leq 0,02$) entre sí. En conjunto, se distanciaron por un valor de 0,11 del valor de las especies en el sistema comercial (CM); sin embargo, de estos últimos, curiosamente el valor de especies en el hábitat del suelo apareció dentro del segundo gran grupo.

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 hábitat 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 hábitats, distanciados por un valor de 0,07, y a su vez se dividió en dos subgrupos más, el primero de los cuales comprendió hábitats de solamente poró y suelo en varios sistemas, incluyendo el suelo en el sistema comercial (CM), anteriormente discutido. Por su parte, el segundo sub-subgrupo fue más

heterogéneo, ya que incluyó los tres hábitats estudiados (café, poró y suelo), tanto en sistemas orgánicos como en convencionales.

4.4 Tendencias poblacionales

Para determinar las tendencias poblacionales de las principales especies de hormigas durante el estudio, y su relación con la precipitación, se consolidaron los números de individuos en todos los sistemas, para cada una de las cinco especies principales.

En general, las poblaciones de las cinco especies aumentaron en forma progresiva en los 15 muestreos efectuados durante los siete meses del estudio. *S. geminata* mostró números altos desde el inicio del estudio, de hasta 54 individuos por trampa, en promedio, y alcanzó un pico de abundancia en julio y otro en septiembre (Fig. 4A). Por su parte, *P. radoszkowskii* tuvo números bajos inicialmente (4 individuos/trampa), y mostró un pico en junio (Fig. 5A), mientras que su congénere *P. cocciphaga* también mostró números bajos al principio (2 individuos/trampa) y aumentó paulatinamente a partir de mayo, hasta alcanzar un pico en agosto (Fig. 6A). *T. paratrachina* fue más abundante en los primeros muestreos, con un pico en marzo, aunque sus números fueron bajísimos (0,30 individuos/trampa). Finalmente, *W. auropunctata* apareció en forma notoria solamente a partir de agosto, y alcanzó un pico en setiembre (Fig. 8A); sus números iniciales también fueron bajísimos (0,28 individuos/trampa).

Aunque la inspección visual de los datos sugiere que podría haber relaciones con la precipitación, dependiendo de la especie, en realidad no la hubo. La relación entre la densidad poblacional y la precipitación mostró una tendencia lineal y positiva, aunque débil, para *S. geminata* ($F= 1,57$, $gl= 14$, $p < 0,2316$, $R^2= 0,10$) (Fig. 4B), por lo que el modelo no explica la relación entre ambas variables. Para *P. radoszkowskii* sí la hubo ($F= 5,63$, $gl= 14$, $p < 0,0338$), aunque con un grado de asociación no muy fuerte ($R^2= 0,30$) (Fig. 5B). Para las demás especies las regresiones fueron nulas y la línea de regresión fue paralela o superpuesta al eje de las abscisas; los valores fueron: *T. paratrachina* ($F= 1,08$, $gl= 14$, $p < 0,32$, $R^2= 0,07$) (Fig. 8B), *P. cocciphaga* ($F= 0,24$, $gl= 14$, $p < 0,63$, $R^2= 0,63$) (Fig. 6B) y *W. auropunctata* ($F= 0,09$, $gl= 14$, $p < 0,77$, $R^2= 0,006$) (Fig. 7B).

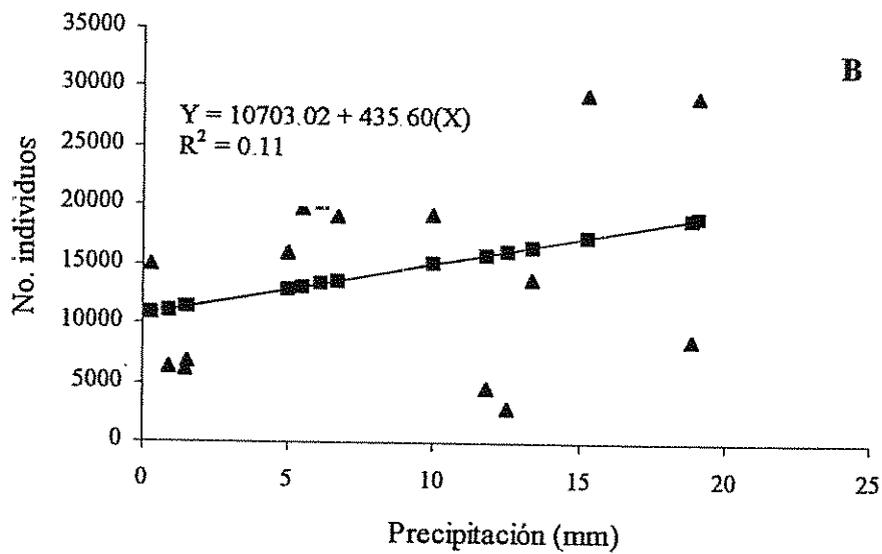
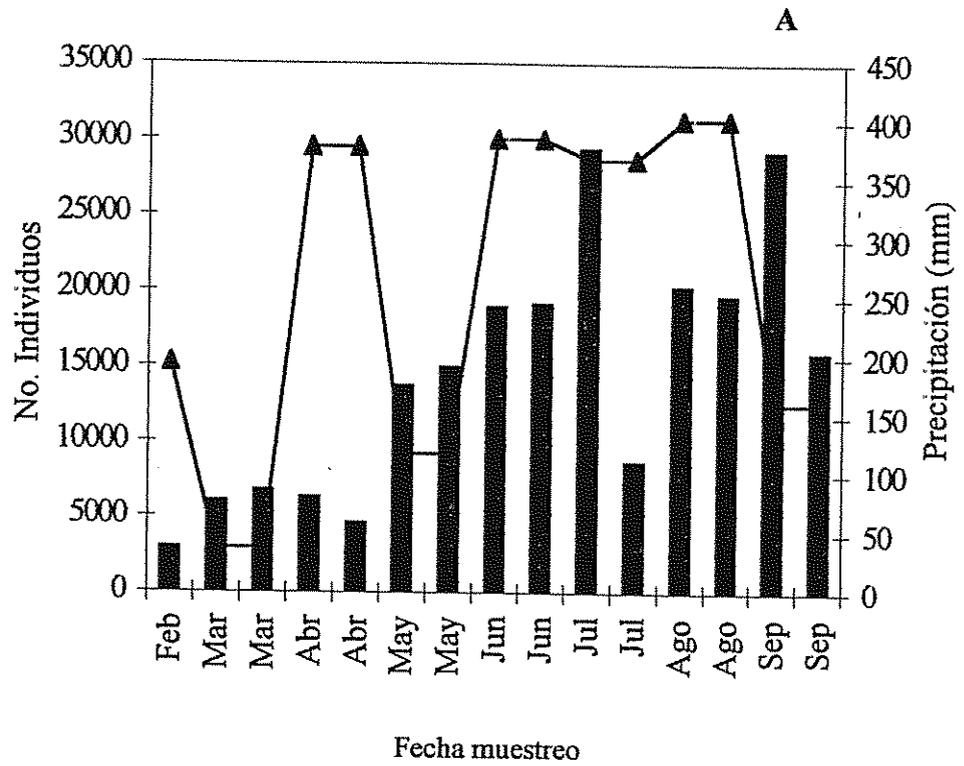


Figura 4. Tendencias poblacionales de *S. geminata* durante el estudio, mediante análisis de regresión y correlación. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001.

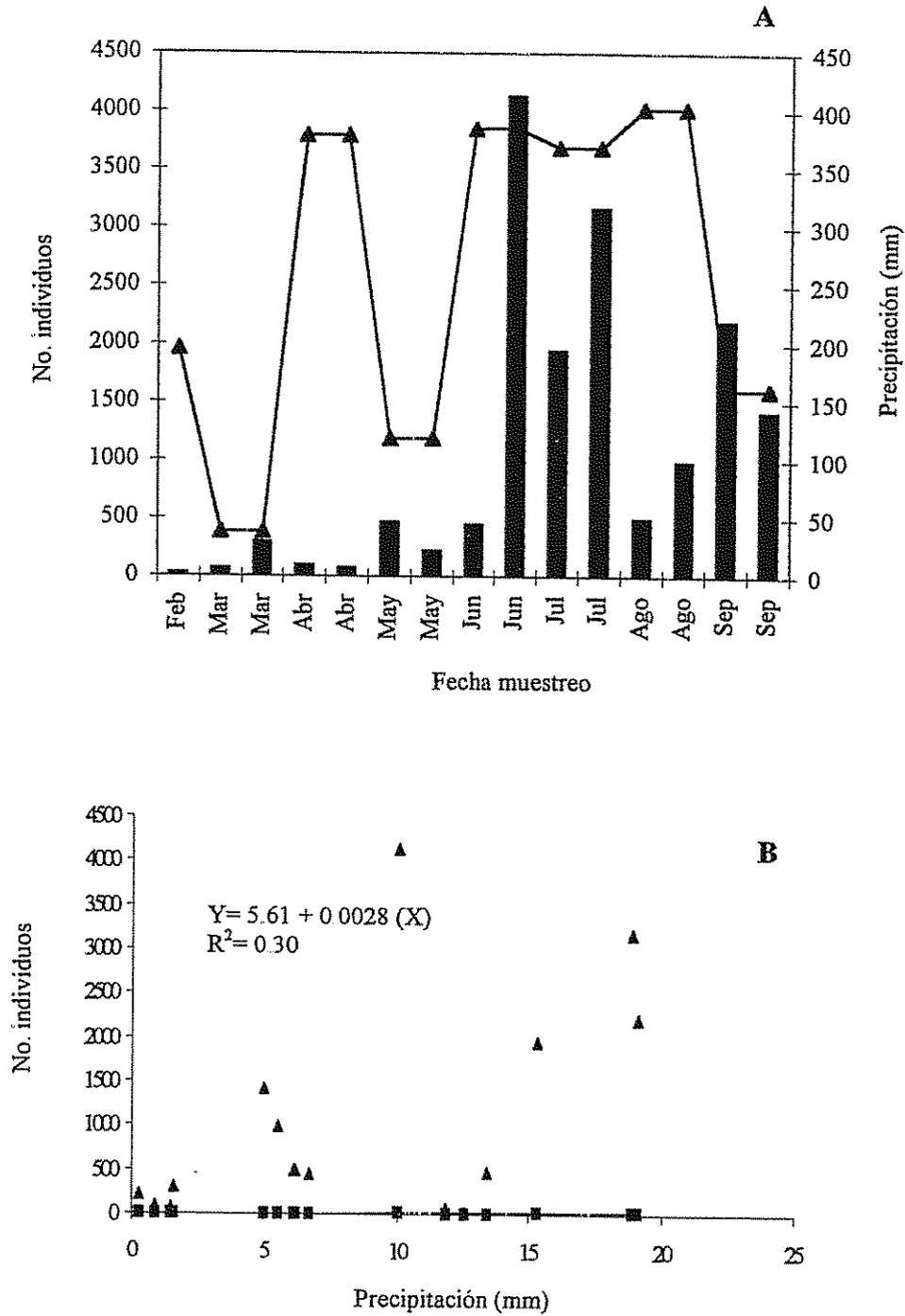


Figura 5. Tendencias poblacionales de *P. radoszkowskii* durante el estudio, mediante análisis de regresión y correlación. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001.

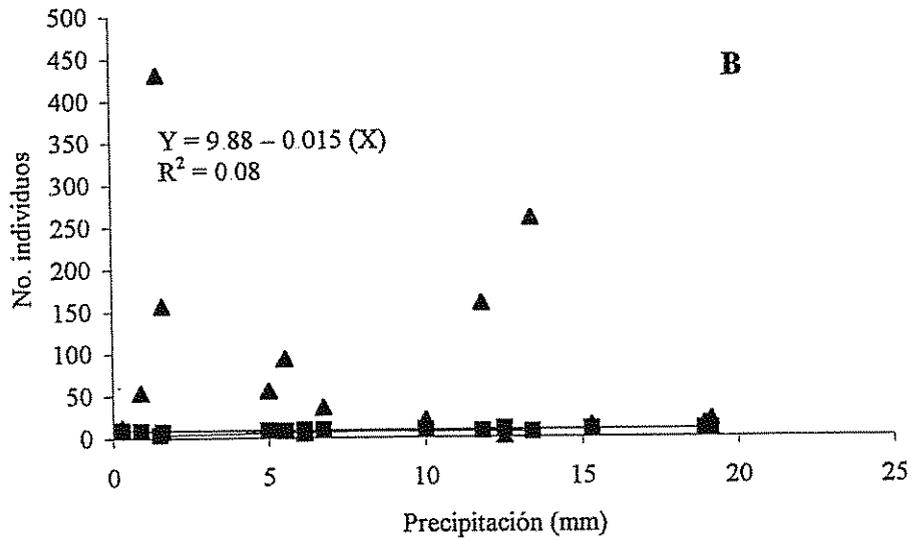
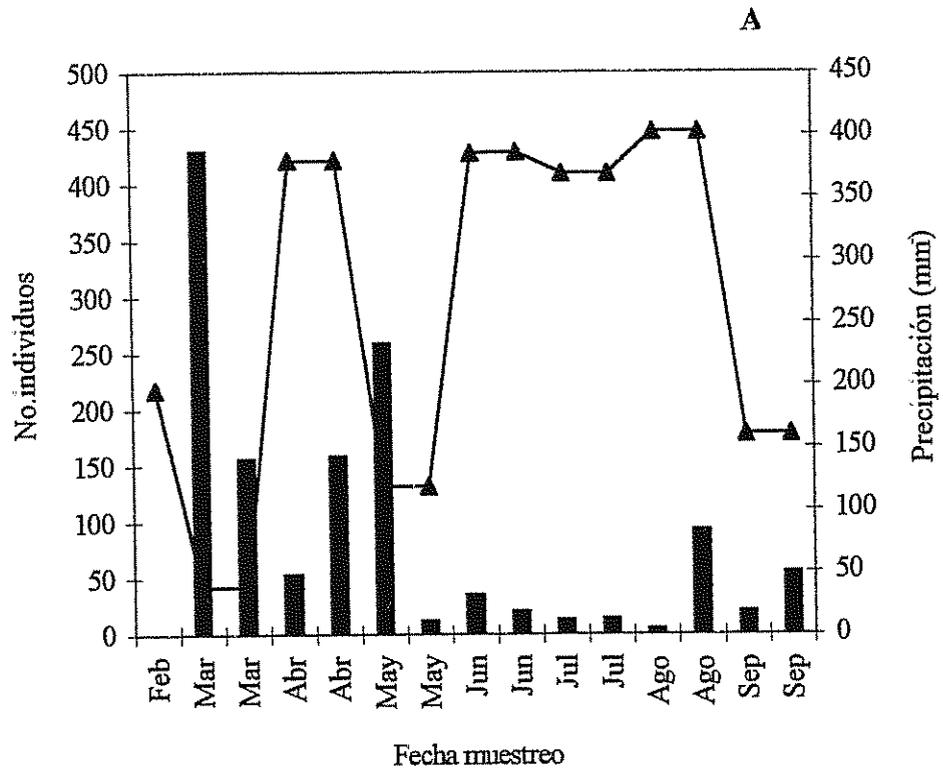


Figura 7. Tendencias poblacionales de *T. paratrachina* durante el estudio, mediante análisis de regresión y correlación. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001.

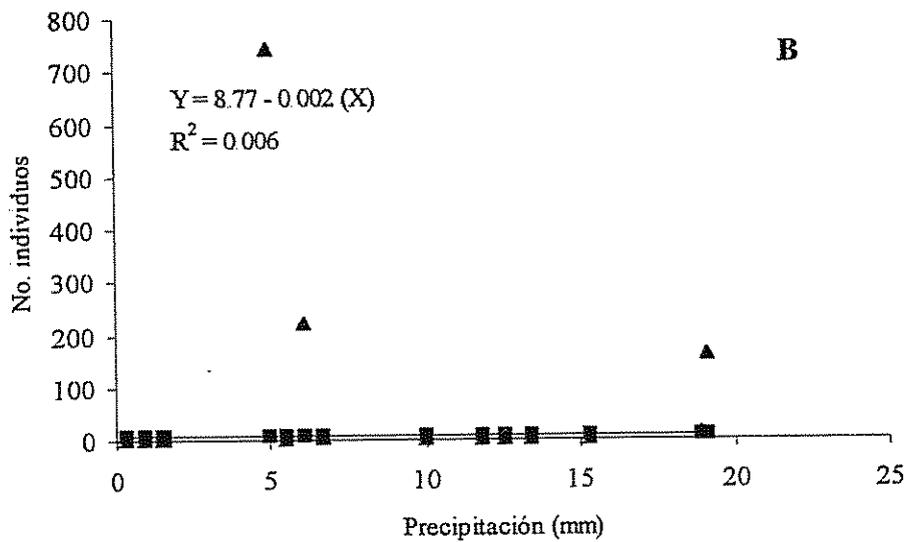
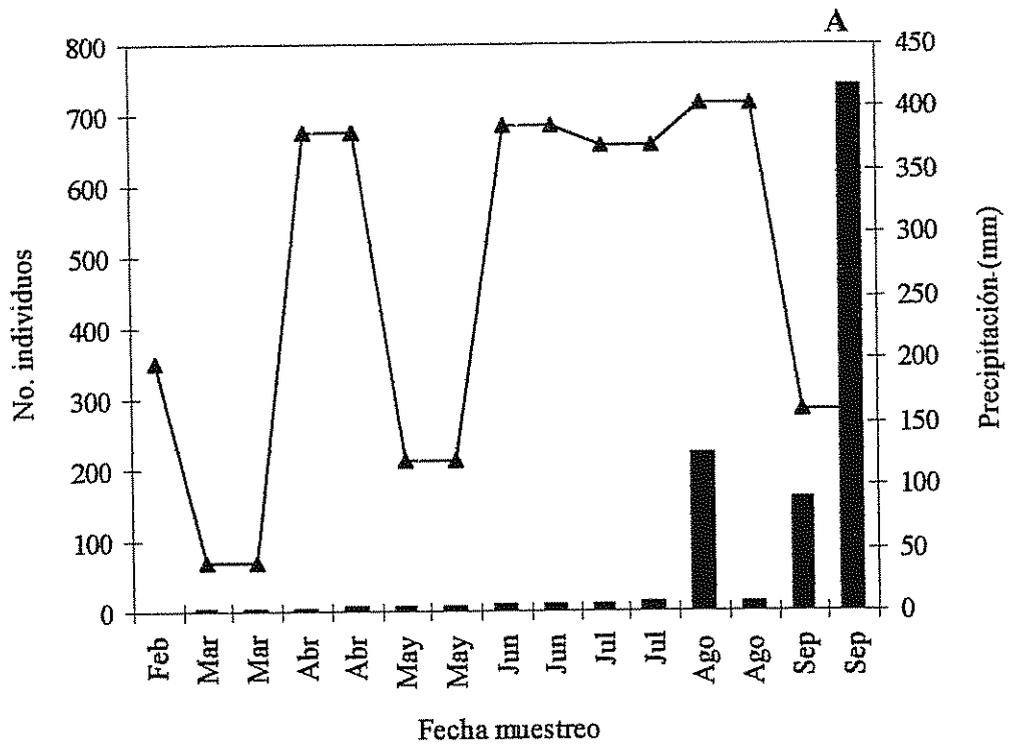


Figura 8. Tendencias poblacionales de *W. auropunctata* durante el estudio, mediante análisis de regresión y correlación. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001.

Puesto que la precipitación u otros factores abióticos o bióticos podrían influir en la cantidad de especies de hormigas o en las tendencias poblacionales de manera indirecta, por ejemplo afectando la composición florística y el desarrollo del componente vegetal en cada sistema o hábitat, se efectuó un análisis de varianza para detectar posibles diferencias entre los números de especies e individuos en los distintos sistemas y hábitats.

Según dicho análisis, tanto para el número de especies ($F= 11,80$, $gl= 269$, $p < 0,0001$) como para el de individuos ($F= 7,15$, $gl= 269$, $p < 0,0001$) las variables principales (sistema y hábitat) fueron altamente significativas.

El número de especies varió marcadamente entre los hábitats del café en relación con el poró y el suelo, los cuales no difirieron entre sí ($p > 0,05$) (Fig. 9A). El sistema TO registró la mayor cantidad de especies, en promedio, sobresaliendo el poró con el valor más alto (4,6), incluso entre todos los sistemas. En contraste, en los sistemas representados en el sector Bonilla (MO, MC, CN) no hubo diferencias ($p > 0,05$) entre el poró y el suelo, y variaron entre 2,2-2,5), exceptuando al sistema LO, que tuvo un valor más alto (3,2), que difirió de ellos. Por su parte, las tendencias en el sistema CM no difirieron de las de la mayoría de los sistemas del sector Bonilla ($p > 0,05$), con valores de 2,2-2,5. El número de especies en el café fue mayor en el sistema TO (3,3) que en el sector Bonilla (1,2, 1,7 y 1,6 para MO, MC y CN, respectivamente), aunque en el sistema LO fue inferior, de apenas 0,9 especies. Finalmente, el café del sistema CM, donde el promedio fue de 2,9 especies, superó los valores del poró y el café dentro del mismo sistema, así como los observados en el sector Bonilla.

En cuanto al número de individuos los resultados fueron mucho más contrastantes (Fig. 9B). Hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre cada hábitat (suelo, poró y café), registrándose el mayor valor promedio en esta secuencia. Las poblaciones más altas aparecieron en el sector Bonilla, donde se observó una tendencia clara a que el número de individuos aumentara con la intensificación de las prácticas de manejo en cada sistema, por lo que las poblaciones fueron menores en los sistemas orgánicos (con 200-1475 individuos en LO y 204-1372 en MO), que en los convencionales (con 473-2120 individuos en MC y 567-2128 en CA); asimismo, la secuencia fue suelo > poró > café. Por su parte, los sistemas TO y CM tuvieron menores poblaciones y diferente orden en la secuencia jerárquica de hábitats; para TO fue 253 (poró) > 251 (café) > 187 individuos (suelo), mientras que para CM fue 472 (café) > 440 (suelo) > 356 individuos (poró).

No obstante, para explicar los efectos de las interacciones entre los sistemas y los hábitats sobre la cantidad de especies y sus densidades poblacionales, fue necesario efectuar el análisis de la matriz de medias (sistema x hábitat) (Cuadro 9).

Para el número de especies del sistema TO y sus combinaciones con los hábitats del sistema LO, MO, MC y CN (sector Bonilla) hubo grandes diferencias ($p < 0,01$) en la mayoría de las relaciones entre los hábitats. Sin embargo, al comparar el hábitat de café entre el sistema TO y los del sector Bonilla, no hubo diferencias ($p > 0,05$). Con respecto al número de individuos en esta misma comparación, hubo diferencias ($p < 0,05$) entre las combinaciones entre el suelo y el poró del sistema TO, y los sistemas del sector Bonilla. La diferencia entre el número promedio de individuos en estos dos hábitats fue mucho más contrastante y se mantuvo para la comparación del TO y CM; ésta, por el contrario no difirió ($p > 0,05$) en cuanto al número de individuos en la mayoría de las combinaciones.

Las asociaciones restantes de los sistemas del sector Bonilla y sus diferentes hábitats entre sí, mostraron una clara tendencia con respecto a los hábitats de poró y suelo en las relaciones poró-poró y poró-suelo. Es decir, las medias de estos componentes diferían significativamente o altamente ($p < 0,05$ o $0,01$) entre sí, pero por lo general, el resto de interacciones de los sistemas y sus hábitats no difirieron entre sí. Donde hubo diferencias y marcadas variaciones fue entre las significancias (NS, $p < 0,05$ o $0,01$) en relación con el promedio del número de individuos por sistema y hábitat, registrándose valores altos para el poró y el suelo en su mayoría, en comparación con el café. Estos resultados coinciden con las tendencias visualizadas en la Fig. 9.

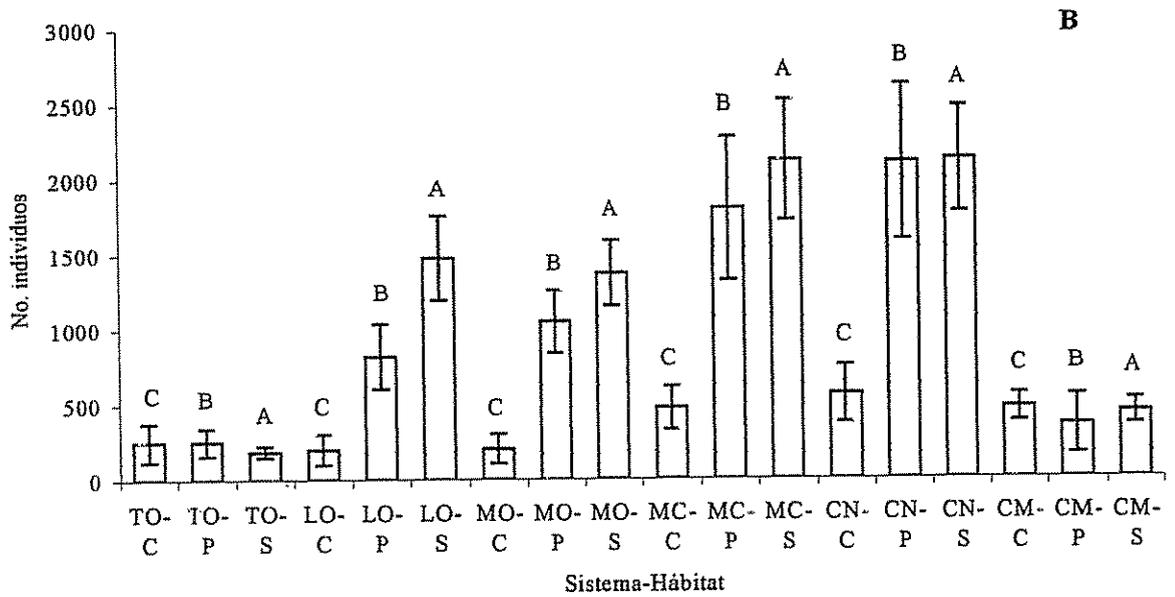
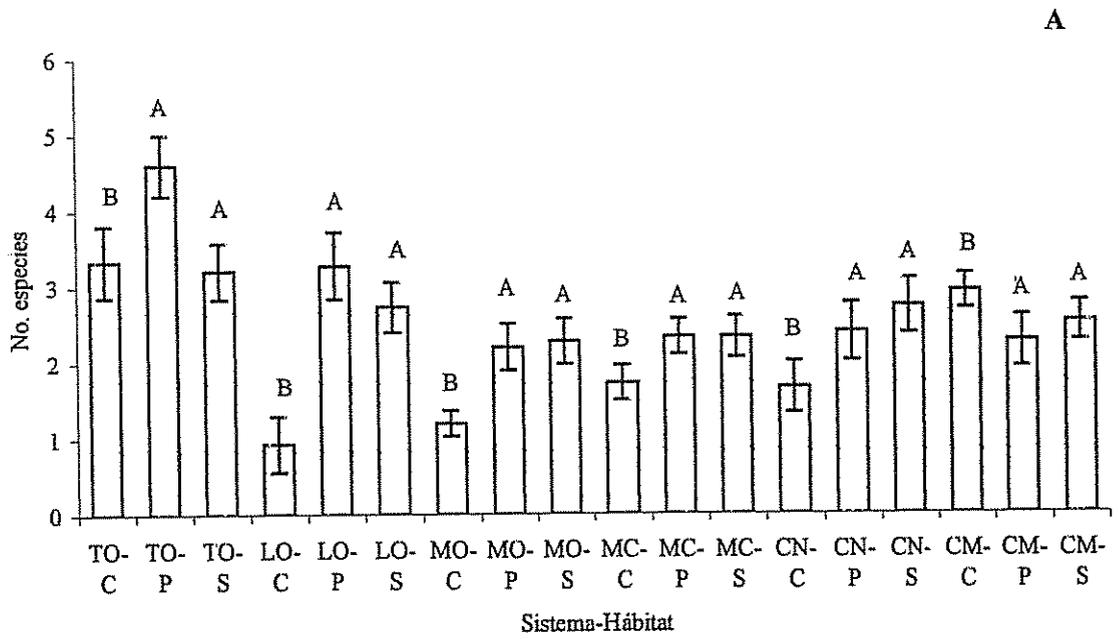


Figura 9. Tendencia poblacional de los seis sistemas por hábitat en café. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001.

Cuadro 9. Resumen de relaciones estadísticas para la cantidad de especies e individuos de hormigas, según los sistemas y los hábitats. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2001.

Sistema	Hábitat	Especie	Individuos
TO-LO	C-C	NS	**
	C-P	NS	NS
	P-C	**	NS
	C-S	**	NS
	S-C	**	NS
	P-P	NS	*
	P-S	**	**
	S-P	NS	*
	S-S	**	NS
TO-MO	C-C	NS	**
	C-P	NS	*
	P-C	**	NS
	C-S	**	NS
	S-C	**	NS
	P-P	*	**
	P-S	**	**
	S-P	*	*
	S-S	**	*
TO-MC	C-C	NS	**
	C-P	**	NS
	P-C	**	NS
	C-S	**	NS
	S-C	*	NS
	P-P	**	**
	P-S	**	**
	S-P	*	**
	S-S	**	NS
TO-CN	C-C	NS	**
	C-P	**	NS
	P-C	**	NS
	C-S	**	NS
	S-C	*	NS
	P-P	**	**
	P-S	**	**
	S-P	*	**
	S-S	NS	NS

NS= no significativo; *=significativo ($p < 0,05$); **= altamente significativo ($p < 0,01$)

Continuación. Cuadro 9

Sistema	Hábitat	Especie	Individuos
TO-CM	C-C	NS	NS
	C-P	NS	NS
	P-C	**	NS
	C-S	NS	NS
	S-C	NS	NS
	P-P	NS	**
	P-S	NS	**
	S-P	*	**
	S-S	NS	NS
LO-MO	C-C	NS	NS
	C-P	*	*
	P-C	**	*
	C-S	**	*
	S-C	*	**
	P-P	NS	NS
	P-S	*	NS
	S-P	NS	NS
	S-S	NS	NS
LO-MC	C-C	NS	NS
	C-P	**	*
	P-C	**	NS
	C-S	**	*
	S-C	*	**
	P-P	**	NS
	P-S	**	NS
	S-P	NS	NS
	S-S	NS	NS
LO-CN	C-C	NS	NS
	C-P	NS	*
	P-C	**	NS
	C-S	NS	**
	S-C	*	*
	P-P	**	NS
	P-S	**	NS
	S-P	NS	*
	S-S	NS	NS

NS= no significativo; *=significativo ($p < 0,05$); **= altamente significativo ($p < 0,01$)

Continuación Cuadro 9.

Sistema	Hábitat	Especie	Individuos
LO-CM	C-C	NS	**
	C-P	NS	*
	P-C	NS	NS
	C-S	NS	**
	S-C	NS	**
	P-P	NS	NS
	P-S	NS	NS
	S-P	NS	**
	S-S	**	NS
MO-MC	C-C	NS	NS
	C-P	**	*
	P-C	NS	*
	C-S	**	*
	S-C	NS	*
	P-P	*	NS
	P-S	**	NS
	S-P	NS	NS
	S-S	*	NS
MO-CN	C-C	NS	NS
	C-P	**	*
	P-C	NS	*
	C-S	**	*
	S-C	NS	*
	P-P	**	NS
	P-S	**	NS
	S-P	NS	*
	S-S	*	NS
MO-CM	C-C	NS	**
	C-P	NS	NS
	P-C	NS	*
	C-S	NS	*
	S-C	NS	*
	P-P	*	NS
	P-S	NS	NS
	S-P	NS	**
	S-S	NS	*

NS= no significativo; *=significativo ($p < 0,05$); **= altamente significativo ($p < 0,01$).

Continuación. Cuadro 9.

Sistema	Hábitat	Especie	Individuos
MC-CN	C-C	NS	NS
	C-P	**	NS
	P-C	NS	**
	C-S	**	NS
	S-C	NS	**
	P-P	**	NS
	P-S	**	NS
	S-P	NS	NS
	S-S	NS	NS
MC-CM	C-C	NS	*
	C-P	NS	NS
	P-C	NS	**
	C-S	NS	*
	S-C	NS	**
	P-P	**	NS
	P-S	**	NS
	S-P	NS	**
	S-S	**	NS
CN-CM	C-C	NS	*
	C-P	NS	NS
	P-C	NS	**
	CS	NS	NS
	S-C	NS	**
	P-P	**	NS
	P-S	**	NS
	S-P	NS	**
	S-S	**	NS

NS= no significativo; *=significativo ($p<0,05$); **= altamente significativo ($p<0,01$)

V. DISCUSION

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, por siete meses, permitió recolectar un número representativo de especies de hormigas en los cafetales del CATIE, tanto en épocas secas como lluviosas. Dichos cafetales están ubicados en un radio de 1300 m, con distancias de 1 km entre la parcela experimental del sector Bonilla y el sistema comercial (CM) y el de café totalmente orgánico (TO), respectivamente, y de 300 m entre el CM y el TO.

En Costa Rica se conocen 85 géneros y al menos 620 especies de hormigas (Longino y Hanson 1995, Hölldobler y Wilson 1990) y, aunque muchas de ellas habitan los sistemas agroforestales de café, se carece de inventarios detallados al respecto. Perfecto *et al.* (1994) informaron de 23 especies de hormigas, pertenecientes a 10 géneros, en un sistema tradicional de café en el Valle Central del país, mientras que Benítez y Perfecto (1989), hallaron 13 especies, pertenecientes a 9 géneros, en un estudio breve en el CATIE, de pocos días consecutivos, en varios tipos de cafetales.

En la presente investigación, en los seis sistemas de café estudiados se recolectaron 19 especies, pertenecientes a 16 géneros y cuatro subfamilias, de las cuales la más abundante fue Myrmicinae, tanto en el número de especies (10) como de individuos (98%); las otras subfamilias representadas fueron Dolichoderinae (tres especies), Formicinae (dos especies) y Ponerinae (cuatro especies) (Cuadro 1). De las 19 especies recolectadas, solamente siete estuvieron representadas en los seis sistemas estudiados: *Solenopsis geminata*, *Pheidole radoszkowskii*, *P. cocciphaga*, *Tapinoma paratrachina*, *Wasmannia auropunctata*, *Monomorium floricola* y *Brachymyrmex* sp.

Las tendencias en la abundancia relativa de las especies de hormigas en general fue congruente entre los tres sistemas (Fig. 1) y los hábitats dentro de cada sistema (Fig. 2), y coincidieron con las observadas normalmente en las comunidades naturales (Krebs 1978, 1989, Magurran 1989), así como en otros insectos presentes en los cafetales (Rojas *et al.* 2001a). 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 pueden reconocer por su mayor densidad o biomasa (Krebs 1978), 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 (hábitats y nutrimentos) en cada sistema mejor que las otras especies, y esta ventaja competitiva les permite incrementar sus poblaciones más rápidamente.

La especie marcadamente dominante fue la hormiga brava (*S. geminata*), que alcanzó una abundancia de 216.564 individuos (89%) del total de individuos capturados durante todo el estudio. Sin embargo, aunque su dominancia fue incuestionable en cinco de los seis sistemas estudiados, en el sistema de café totalmente orgánico (TO) fue claramente superada por *P. radoszkowskii*, que alcanzó el 46% de los individuos en dicho sistema, y fue seguida de cerca por *P. cocciphaga* (13%), ya que *S. geminata* alcanzó el 16%. Además, *S. geminata* predominó fuertemente en las parcelas correspondientes a los cuatro sistemas ubicados en la parcela experimental del sector Bonilla (LO, MO, MC y CN). Asimismo, dentro de esta parcela, sus números en los sistemas convencionales (62.956-64.511 individuos) fueron muy superiores y casi duplicaron a los hallados en los sistemas orgánicos (34.235-36.841 individuos).

P. radoszkowskii y *P. cocciphaga* ocuparon la segunda y tercera posiciones en la jerarquía de dominancia en todo el estudio, con 7 y 3% de los individuos, respectivamente (Cuadro 2). Ambas coexistieron con *S. geminata* en los seis sistemas evaluados, por lo que se pueden considerar como especies co-dominantes (Majer 1972), y especialmente *P. radoszkowskii*, que dominó en uno de los sistemas (TO).

Las otras 16 especies recolectadas se pueden considerar como no dominantes, debido a su mediana o baja abundancia, y a su ausencia en varios de los sistemas. De ellas, solamente *T. paratrachina*, *W. auropunctata*, *M. floricola* y *Brachymyrmex* sp. aparecieron en todos los sistemas, *S. picea* lo hizo en cuatro de ellos, y las restantes en apenas uno (*Forelius* sp., *Camponotus novogranadensis*, *P. simonsi*, *Rogeria tonduzi*, *Pachycondyla obscuricornis* y *Cardiocondyla* sp.) o dos sistemas (*Azteca* sp., *Odontomachus chelifer*, *Crematogaster curvispinosus*, *Gnamptogenis striatula* y *Ectatomma gibbum*).

La mayoría (11) de las especies no dominantes aparecieron en el sistema totalmente orgánico (TO), exceptuando a *G. striatula*, *Cardiocondyla* sp. y *E. gibbum*, y cinco de ellas (*Forelius* sp.,

Camponotus novogranadensis, *P. simonsi*, *R. tonduzi* y *P. obscuricornis*) fueron exclusivas de dicho sistema.

Los menores números de *S. geminata* en el sistema TO pueden explicarse con base en algunos de sus requerimientos ecológicos. Esta especie es poco común en sistemas tradicionales de café en Mesoamérica, los cuales normalmente contienen árboles de sombra (Perfecto *et al.* 1994). De hecho, la parcela del sistema TO, de siete años de edad, se caracterizó por la presencia de árboles de sombra grandes de poró (*E. poeppigiana*) y, en menor cantidad, de laurel (*Cordia alliodora*), y está rodeada por hileras de eucalipto (*E. deglupta*). Asimismo, el ambiente era muy húmedo y el suelo, de textura franco y oscuro, siempre estaba húmedo y cubierto por un denso manto de hojarasca. El sotobosque estaba conformado por varias plantas herbáceas de hoja ancha, especialmente chinas (*Impatiens balsamina*), y por 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.

S. geminata suele establecer sus colonias o nidos en el suelo, pero al parecer no es muy exigente con respecto a los sitios de anidación (Perfecto *et al.* 1994). En el suelo del sistema TO, que estaba cubierto por abundante hojarasca (mantillo), no se observaron nidos, aun cuando el cebo siempre se colocó sobre el suelo desnudo, después de retirar la hojarasca. En dicha parcela fue común observar a los individuos de *S. geminata* patrullar en filas ascendentes o descendentes, entre el musgo adherido a los porós. Es interesante que, a diferencia de los otros sistemas estudiados, en el TO predominaron individuos más pequeños (2 mm), en contraste con las del sector Bonilla (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.

Por el contrario, sus elevados números en los sistemas presentes en la parcela del sector Bonilla, donde se observaron castas con individuos mayores y soldados (hormigas con cabezas grandes y cuerpo engrosado), 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 *et al.* 1994), o cuando los agroecosistemas comienzan a modernizarse y, con ello, se eliminan los árboles de sombra (Perfecto *et al.* 1994). Además, los nidos de *S. geminata* son muy grandes, y típicamente

incluyen una extensa área del subsuelo (no mayor de 15 m), por lo que un solo nido puede cubrir mucha área, lo que les permite mantenerse activas a altas temperaturas (Perfecto *et al* 1996). 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 términos funcionales, dicha parcela equivalió a una plantación sin sombra, pues tenía apenas cuatro meses de haber sido establecida cuando se iniciaron los muestreos, y su edad actual es de solamente un año. Anteriormente, este terreno estuvo plantado con caña de azúcar, y ahora se mantiene rodeado por plantaciones de este cultivo. En dicha parcela los árboles de poró estuvieron representados por estacas en desarrollo, tanto radicular foliar, 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 subsecuentes. Por su condición de apertura del dosel, las malezas fueron abundantes, entre las que predominaron *Emilia* sp., *Barreria alata*, *Mimosa pudica* (Anexo 6).

Al comparar la comunidad de hormigas estudiada con las de otras zonas productoras de café en Costa Rica, hay contrastes evidentes. En Heredia, ubicada en la vertiente del Pacífico, en el Valle Central del país, Perfecto (1994) halló mayor riqueza de especies que en este estudio. Ella recolectó 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 sombreada moderadamente con *E. poeppigiana*. En cambio, en Turrialba, apenas hubo 12 especies en el sistema TO, donde había sombra de *E. poeppigiana*, y cinco especies en el café CN y LO. Estos hallazgos sugieren que la mayor precipitación anual en Turrialba (2479 mm) que en Heredia (2182 mm), así como su distribución irregular pero continua durante el año, afecta adversamente a ciertas especies y, con ello, influye en la composición de las comunidades de hormigas. Además, *S. geminata* podría afectar, al menos indirectamente, la jerarquía de dominancia dentro de la comunidad, pues en Heredia la especie dominante fue *S. geminata*, seguida por *P. radoszkowskii*.

En Turrialba, el hecho de que *P. radoszkowskii* dominara en el sistema TO, y que su congénere *P. cocciphaga* ocupara el tercer lugar en abundancia en dicho sistema, sugiere que éste ofrece recursos o condiciones propicias para la sobrevivencia, reproducción y persistencia de especies que son afines taxonómicamente.

P. radoszkowskii usualmente ocupa una importante área en las plantaciones de café y, además de ser una eficiente reclutadora, tiene 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 (Perfecto *et al.* 1996), su capacidad de reclutamiento es mayor; éste es un mecanismo de comunicación que permite atraer a miembros de la misma colonia a sitios donde su trabajo es necesario (Wilson 1971). Por su parte, *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 (Perfecto *et al.* 1999, 2001); por ejemplo, fue común observar en el sistema CM, y especialmente en el sector Bonilla, cómo esta especie cubría con partículas de suelo 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 *et al.* 1999, 2001).

En Heredia, *P. radoszkowskii* fue la segunda especie más abundante en plantaciones tradicionales de café (Perfecto 1989), al igual que en Turrialba donde Perfecto (1990) reportó 11 especies de hormigas en sistemas de café – poró. La especie *P. radoszkowskii* es buena depredadora (Perfecto *et al.* 1994, John T. Longino 2001 com. pers.) y frecuentemente ocupa 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 (Longino 1997). Aunque en el presente estudio dicha especie se encontró en todos los hábitats de todos los sistemas evaluados, la abundancia de ramas gruesas resultantes de las fuertes podas al poró sobre el suelo, en el sistema TO, proporcionó microhábitats favorables para esta especie. Por el contrario, en el sector Bonilla no hubo podas, dada la escasa edad del poró, 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 de poró.

Por otra parte, el hecho de que 11 de las 16 especies no dominantes aparecieran en el sistema TO, y que cinco fueran exclusivas de dicho sistema, sugiere que la complejidad estructural y la composición florística del sotobosque aportaron 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).

En términos prácticos, algunas de estas especies podrían ser importantes, como *Crematogaster curvispinosus*, que se ha observado depredando a la broca del café (*H. hampei*) en Brasil (Benassi 1995); sin embargo, en este estudio su abundancia fue sumamente baja. La captura de esta especie quizás estuvo limitada por el tipo de trampa que, al parecer, fue poco atractiva para ella. En las pocas oportunidades en que se observó no se adhirió a ninguna de las caras de la trampa, sino que se agrupó en los bordes del cartón impregnado con aceite de atún.

Desde la perspectiva del análisis global de las comunidades de hormigas asociadas con los diferentes sistemas estudiados, fueron los sistemas totalmente orgánico (TO) y el comercial (CM) los que presentaron la mayor riqueza de especies. Esto se puede explicar por la mayor edad de ambos sistemas, de siete y cinco años, respectivamente, en contraste con los sistemas ubicados en el sector Bonilla, menores de un año. Pero, además, la mayor riqueza en el TO muy posiblemente se explica por el mayor tamaño de los árboles de poró, así como sus anchos troncos cubiertos de abundantes líquenes y musgos, donde hay hendiduras y hoyos que proporcionan hábitats para las hormigas. Asimismo, en el sotobosque había muchas plantas de malanga (*Colocasia* sp.) y china (*Impatiens balsamina*) y esta última es muy visitada. La composición florística del sotobosque era más o menos estable y nunca fue perturbada con la aplicación de herbicidas, como ocurrió en el CM.

Estos valores de riqueza de especies se reflejaron directamente en los valores de los índices de diversidad calculados, pues estos dos sistemas mostraron los mayores valores para los tres índices, los cuales a su vez siempre resultaron más altos para el TO. Pero en este sistema la equidad también fue mayor, lo que acentuó las diferencias en el valor del índice de Shannon-Wiener, en comparación con CM y los demás sistemas, pues dicho índice da más peso a las especies menos abundantes (Magurran 1989). Asimismo, es el que mejor reúne y sintetiza los conceptos de riqueza y de equidad de especies.

Sin embargo, debe resaltarse que para los tres índices calculados, el TO fue el sistema que alcanzó los valores más altos. El índice de Margalef aporta una medida de riqueza de especies, al considerar su abundancia y dominancia, y no discrimina entre comunidades en las que los

números de individuos por especie son más equitativos (Magurran 1989). Por su parte, el de Simpson tiene un sesgo hacia las especies más abundantes y es menos sensible a la riqueza de especies (Magurran 1989).

Al considerar los valores de los índices para la diversidad de especies por hábitat dentro de cada sistema, en el sistema TO el poró ocupó el primer lugar con los tres índices, y el valor obtenido para el poró *per se* incluso siempre superó al de todo el sistema TO. Esto podría obedecer a que, al segregarse los datos por hábitat, 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.

La mayor riqueza y diversidad de hormigas en el poró indica que las especies que visitan estos árboles fueron las más determinantes en el valor de diversidad total del sistema TO. Hubo cuatro especies (*Azteca* sp., *O. chelififer*, *Brachymyrmex* sp. y *C. curvispinosus*) que no aparecieron en el café pero sí en el poró (y dos de ellas también en el suelo), mientras que, exceptuando a *P. radoszkowskii*, *P. simonsi* y *M. floricola*, los números de individuos fueron siempre mayores en el poró que en el café. Pero, además, la reducción sustancial en el número de individuos de *S. geminata* presentes en el poró, en comparación con los otros cinco sistemas, contribuyó en el incremento de la equidad tanto para el sistema TO, como para el poró en particular.

Según el tipo de índice calculado, para los demás hábitats y sistemas hubo bastante variabilidad en la secuencia jerárquica de valores de diversidad por hábitat. Por tanto, y puesto que el índice de Shannon-Wiener es el más aceptado universalmente (Price 1975, Krebs 1978, 1989), sus valores serán los únicos que se discutirán aquí.

Estos valores revelan que en el sistema CM la secuencia fue café > poró > suelo, mientras que para los cuatro sistemas en la parcela del sector Bonilla la secuencia fue poró > suelo > café, excepto en CN, donde el suelo ocupó el primer lugar. Esta relación se puede explicar en función de los recursos aportados por los componentes del hábitat, así como también por los hábitos de las diferentes especies encontradas. Por ejemplo, en el sistema CM se observó que las hormigas patrullaban toda la planta de café, sobre todo cuando las flores estaban abiertas; en Turrialba, por su régimen de precipitación, la floración del café ocurre casi todo el año, pero también en ciertos periodos había varias especies de áfidos y escamas que eran visitadas por las hormigas. En

cambio, la floración en parcela TO fue menor, debido en parte a que las plantas no habían sido podadas durante mucho tiempo, lo cual es necesario para la formación de tejido nuevo que, a su vez, las torne más productivas en términos de flores y cosecha.

Con respecto al sector Bonilla, fue común observar las hormigas emerger de las grietas próximas a la base del tallo de los árboles de poró. Esta especie produce follaje muy rápido, el cual atrae varios insectos y este recurso es entonces aprovechado por las especies pioneras en la sucesión, lo cual a su vez contribuye para que sean las especies dominantes del sistema. En cuanto a la excepción del sistema CN, cuyo suelo se mantuvo sin malezas durante la mayor parte del estudio, representa el sistema más perturbado de los estudiados, y el preferido por las especies de hormigas que son frecuentes en áreas abiertas y perturbadas.

De hecho, al analizar previamente los cuatro sistemas del sector Bonilla, los valores del índice de Shannon-Wiener no habían diferido mucho entre sí, ni mostraron una tendencia definida según la naturaleza orgánica o convencional de éstos; por ejemplo, sus mayores valores se registraron para LO y CN, que representan los extremos de ambos tipos de sistemas. Dada la escasa edad del sistema, inicialmente la composición y proporción de individuos de las principales cinco especies de hormigas fue homogénea en los sistemas, pero se observaron diferencias con respecto a la configuración de los nidos. En el sistema LO las hormigas construyeron montículos muy visibles, que sobresalían entre la maleza, entre los callejones del café, mientras que en el CN no se observaron montículos sino grietas próximas a los arbolitos de poró, por donde ingresaban o salían las hormigas.

Un factor determinante de la diversidad en todos los sistemas fue la especie dominante, *S. geminata*. Aunque ésta fue muy abundante en los tres tipos de hábitats, en todos los sistemas, lo fue mucho más en los cuatro sistemas del sector Bonilla, y especialmente en el suelo. El porcentaje de individuos capturados en el suelo en cada uno de sus sistemas fue de 62 (LO), 54 (MO), 49 (MC) y 43% (CN), lo cual está relacionado con la anidación, citada en el párrafo anterior. Pero, además, fue muy abundante en los árboles de poró, a pesar de su pequeño tamaño, donde sus valores fueron de 45 (CN), 40 (MC), 39 (MO) y 29% (LO). El poró es ocupado también por homópteros sésiles que suplen azúcares proporcionando una de las principales fuentes de recursos alimenticios, mientras que los cafetos quizás son aún muy pequeños como para ofrecer suficientes medios de sustento.

La comparación de la composición de especies de hormigas entre sistemas se efectuó tanto mediante índices (Sorensen, Jaccard y Morisita), como a través de un análisis de conglomerados. En términos teóricos, los dos primeros índices solamente consideran la presencia o ausencia de especies, por lo que todas las especies tienen el mismo peso, independientemente de si son abundantes o escasas, mientras que el de Morisita incluye la abundancia relativa de las especies, por lo que es muy influenciado por la abundancia de la especie más común (Wolda 1981, Magurran 1989). Todos ellos adquieren un valor de 1 en caso de haber similitud total entre las comunidades, y de 0 si son totalmente disímiles (Wolda 1981, Magurran 1989).

Los dos primeros revelaron que los sistemas más parecidos entre sí fueron los dos sistemas orgánicos ubicados en la parcela del sector Bonilla (LO y MO) (Cuadro 7), cercanamente seguidos por los dos sistemas convencionales presentes en dicha parcela (MC y CN). Por su parte, el índice de Morisita dio un valor máximo a varias comparaciones entre sistemas, entre los que estuvieron LO, MO, MC y CN. No obstante, ninguno de los índices coincidió en cuanto a cuáles fueron los sistemas más disímiles. Para el de Sorensen, lo fueron el totalmente orgánico (TO) y el convencional (CN), así como el TO y el medianamente convencional (MC); para el de Jaccard, lo fueron el TO y los otros dos sistemas orgánicos (LO y MO); y para el de Morisita, lo fue el TO contra todos los demás sistemas.

Por su parte, el análisis de conglomerados dio origen a dos grupos principales (Fig. 3). Un grupo estuvo conformado por las especies de hormigas presentes en los sistemas de mayor edad, como lo son el totalmente orgánico (TO) y el comercial (CM), con siete y cinco años, respectivamente. A su vez, dentro de este grupo, la composición de especies en los tres hábitats del sistema TO guardó mucha cercanía entre sí. Por su parte, solo dos de los hábitats del sistema CM (café y poró) guardaron similitud, pues el otro (suelo) se ubicó dentro del segundo grupo. El suelo de esta parcela de (textura arenosa y muy compacto) se mantuvo libre de malezas por control químico durante el período del estudio. Los cuatro sistemas más jóvenes, de menos de un año de edad, presentes en la parcela experimental del sector Bonilla (LO, MO, MC, CN) también se mantuvieron juntos en este agrupamiento.

En cuanto a los dos subgrupos del segundo grupo, la única tendencia definida fue que el primero comprendió al hábitat de café en los sistemas orgánicos (LO y MO) del sector Bonilla. En los demás casos no hubo tendencias claras en relación con los sistemas o los hábitats; incluso los

valores de similitud de especies para el hábitat de poró ocuparon posiciones extremas, contrastantes, en un caso mostrando afinidades entre los sistemas LO y MO, y en el otro extremo entre los sistemas MC y CN. Estas diferencias quizás obedecen a que hubo ciertas condiciones específicas de algunas de las tres réplicas (parcelas) de cada tratamiento, como su ubicación particular dentro de la parcela general en el sector Bonilla. Donde se observon muy marcadas diferencias en el promedio del número de individuos por sistema y hábitat. Registrándose promedios altos tanto para el poró como para el suelo en su mayoría con respecto a los bajos promedios evaluados en el café.

El entendimiento de los factores abióticos y bióticos que afectan la abundancia, distribución y persistencia de las hormigas presentes en cafetales, podría tener valor aplicado, en el campo del manejo integrado de plagas (MIP). En tal sentido, más que la diversidad de especies *per se*, sería crítica la biodiversidad funcional en el agroecosistema cafetalero, especialmente para tratar de optimizar los requerimientos de hábitats para aquellas especies de hormigas que podrían actuar como agentes de control biológico de plagas.

En cuanto a especies depredadoras, las hormigas grandes tienden a atacar presas grandes y omiten o no ven a presas pequeñas, que a su vez pueden ser atacadas por hormigas pequeñas (Majer *et al.* 1992). Hay evidencias de que las dos especies más importantes detectadas en el presente estudio, *S. geminata* y *P. radoszkowskii* pueden actuar como depredadoras. Por ejemplo, Eskafi *et al.* (1990) reportaron la depredación de larvas de la mosca del Mediterráneo (*Ceratitis capitata*) por *S. geminata* en Guatemala.

La estrategia de alimentación de la mayoría de hormigas depredadoras, consiste en el ataque en masa, para lo cual grupos de obreras se dirigen hacia la presa través de senderos marcados con olores por soldados de la colonia, la cual es atacada en forma violenta (Hölldobler y Wilson 1990). Por ejemplo, en una ocasión se observó un ataque en masa de *S. geminata* sobre dos avispas de la familia Pompiliidae, las cuales cayeron al suelo, en el sistema CM.

En cuanto a los hábitos de las otras especies halladas en cafetales, hay una gran variabilidad. A continuación se describen algunos de ellos, basados en información aportada por un especialista en hormigas (John T. Longino 2001 com. pers.), salvo que se indique lo contrario.

Por ejemplo, *T. paratrachina*, que puede depredar huevos y larvas pequeñas (John T. Longino 2001 com. pers.), se observó visitando escamas presentes en las flores de café en el sistema CM, en agosto. También *W. auropunctata*, conocida en varios países tropicales como hormiga de fuego por su fuerte picadura a las personas, es reportada como buena depredadora de insectos y es abundante en áreas abiertas, donde compite con *S. geminata*.

Por su parte, *Brachymyrmex* spp. son comunes en áreas abiertas y de crecimiento secundario (charrales), mientras que *Camponotus novogranadensis* y *Forelius* spp. son arborícolas, visitan nectarios extraflorales, son comunes en viviendas y no son buenas depredadoras. Aunque normalmente son solitarias, pueden conformar pequeños grupos, dentro de los cuales las obreras (grandes) salen de noche y las pequeñas de día; en realidad los cebos de atún no les son tan atractivos como los de azúcar. Hölldobler *et al.* (1990) señalan que algunas especies de *Pheidole* y *Camponotus* pueden depredar termitas. *P. obscuricornis*, que se capturó solamente en el sistema TO, es común en bosques, donde es buena cazadora, solitaria, de presas pequeñas que están sobre el suelo.

O. chelifer es una especie muy grande, frecuentemente nocturna, que ha sido observada solo en el suelo del bosque húmedo; en este estudio se le observó en el sistema TO patrullando en el suelo. *S. picea* es generalista, usualmente muy abundante, con hábitos de reclutamiento, y siempre se encuentra con otras especies congéneres. *R. tonduzi* se alimenta sobre el suelo y la vegetación baja, mientras que *Cardiocondyla* sp. es común en áreas abiertas y en ciudades. *G. striatula* aparentemente prefiere hábitats secos, incluyendo áreas perturbadas, casi siempre aparece en bajas densidades, y puede atacar milpiés, insectos duros, abejones descortezadores (Scolytidae) e incluso otras hormigas. *C. curvispinosus* es común en áreas abiertas, son buenas reclutadoras, y pueden depredar huevos, larvas y pupas, e incluso molestar a plagas a otros insectos que ocupen su territorio, apartándolas de su fuente de alimentación. *Azteca* spp. tienen mutualismos con árboles de guarumo (*Cecropia* spp.) y laurel (*Cordia alliodora*), esta última común en el sistema TO, donde dicha hormiga se encontró mayormente. Finalmente, *M. floricola* es una especie no nativa, perteneciente a un género muy diverso, con numerosas especies en Asia, Africa y zonas templadas.

Aunque las hormigas con hábitos depredadores normalmente son generalistas, quizás podrían depredar plagas importantes en sistemas agroforestales mesoamericanos. Estas incluyen la broca

del café (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae), que ingresó en Costa Rica en diciembre de 2000 (Dr. Olger Borbón 2001, ICAFE, com. pers.) o plagas de árboles maderables valiosos asociados con cafetales, como los cedros y caobas, que son atacados por el barrenador *Hypsipyla grandella* (Pyralidae).

Lamentablemente, la información al respecto es prácticamente nula, y está basada en referencias más bien anecdóticas. Aunque Benassi (1995), Perfecto (2000) y Vélez *et al.* (2001) mencionan que algunas especies capturadas en este estudio (*W. auropunctata* y *C. curvispinosus*) o afines a ellas (*Solenopsis* spp. y *Brachymyrmex* spp.) tienen potencial como depredadoras de la broca del café, se deben efectuar estudios detallados, tanto de laboratorio como de campo, para determinar las preferencias alimentarias de dichas especies hacia las plagas claves indicadas. Una vez efectuado esto, sería necesario estudiar los requerimientos de hábitats de dichas especies, para tratar de optimizarlos, de modo que se pueda lograr su conservación e incremento y, así, su actividad como agentes de control biológico de plagas.

Conclusiones

1. Hubo diferencias en la composición, riqueza y diversidad de especies de hormigas, según la edad de los cafetales, independientemente de su manejo orgánico o convencional.
2. En el sistema totalmente orgánico se registró la mayor riqueza, equidad y diversidad de especies de hormigas, debido a la edad del cafetal y a su mayor complejidad estructural.
3. No hubo diferencias importantes en la composición, riqueza y diversidad de especies de hormigas en la parcela con distintos grados de manejo agronómico, debido a que ésta representa una etapa muy temprana en la sucesión de la comunidad de hormigas.
4. *Solenopsis geminata* fue la especie ampliamente dominante en todos los sistemas, con excepción del sistema totalmente orgánico, donde predominó *Pheidole radoszkowskii*.
5. En general, tanto la riqueza como la diversidad de especies de hormigas fueron mayores en los árboles de poró y el suelo, que en los arbustos de café.

Recomendaciones

1. Realizar estudios por al menos un decenio, en intervalos de dos años, en la parcela experimental del sector Bonilla (Estación Experimental La Montaña, CATIE), para comparar la dinámica de la sucesión, composición, riqueza y diversidad de especies de hormigas en cafetales con diferentes intensidades de manejo, como posibles modelos aplicables a fincas comerciales de café.
2. Ampliar este tipo de estudio, incluyendo otros tipos de trampas (otros cebos atrayentes, trampas de foso, fumigantes, etc.) que permitan capturar especies representativas de los distintos hábitats y con diferentes hábitos alimentarios.
3. Determinar cuáles de las especies más abundantes podrían actuar como depredadoras de plagas del café, como la broca (*Hypothenemus hampei*), o de árboles maderables valiosos asociados con cafetales, como el barrenador de los brotes del cedro y la caoba (*Hypsipyla grandella*), para estudiar sus requerimientos ecológicos y mejorar su hábitat.

LITERATURA CITADA

- ALTIERI, M.; NICHOLLS, CI. 1999. Biodiversity, ecosystem function, and insect pest management in agricultural systems. *In* Collins, WW; Qualset, CO. 1999. Biodiversity in agroecosystems. CRC Press. Boca Raton. p. 69-84.
- ALTIERI, M; NICHOLLS, C. 2000. Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable. 1 ed. PNUMA. México. 250 p.
- ANACAFE. 1999. Manual de la caficultura orgánica. MacDonal Ediciones. Guatemala. 159 p.
- BEER, J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems* 5: 3-13.
- BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164.
- BENASSI, VLRM. 1995. Levantamento dos inimigos naturais da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (FERR.) (Coleoptera: Scolytidae) no norte do Espírito Santo. *An. Soc. Entomol. Brasil* 24(3). p. 635-637.
- BENITEZ, J; PERFECTO, I. 1989. Efecto de diferentes tipos de manejo de café sobre las comunidades de hormigas. *Agroecología Neotropical* 1(1): 11-15.
- BIGGER, M. 1993. Ant-homopteran interactions in a tropical ecosystem. Description of an experiment on cocoa in Ghana. *Bulletin of Entomological Research*. 83: 475-505.
- CERDA, M; HANSON, P; BORBON, O; HILJE, L. 1996. Respuesta de la entomofauna benéfica del café (*Coffea arabica*) a varias frecuencias de aplicación de endosulfán, en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 39: 1-9.
- DUFOUR, B; BARRERA, JF; DECAZY, B. 1999. La broca de los frutos del cafeto: la lucha biológica como solución? *In* Bertrand, B y Rapidel, B (ed). Desafios de la caficultura en Centroamérica. IICA, San José, Costa Rica. PROMECAFE-CIRAD-IRD-CCCR. p. 294-325.
- FAOSTAT. 2001. Food and agriculture organization of the United Nations, statistical databases. Homepage (en línea). Turrialba. CR. Consultado 7 Ago 2001. Disponible en <http://apps.fao.org/default.htm>.
- FERNÁNDEZ, CE; MUSCHLER, R. 1999. Aspectos de la sostenibilidad de los sistemas de cultivo de café en América Central. *In* Bertrand, B y Rapidel, B (ed). Desafios de la caficultura en Centroamérica. IICA, San José, Costa Rica. PROMECAFE-CIRAD-IRD-CCCR. p. 69-98.
- GILBERT, LE. 1980. Food web organization and the conservation of neotropical diversity. *In* Soulé, ME; Wilcox, BA. (eds). Conservation Biology: An evolutionary-ecological perspective. Sinauer, Massachusetts. p. 11-33.

- GOMEZ, D. 1995. La agricultura orgánica en Costa Rica y las alianzas estratégicas. *In* García, G; Monge-Nájera, J. (comp). 1995. Memoria del Simposio Centroamericano sobre Agricultura Orgánica. 6-11 de Marzo de 1995, San José. Costa Rica. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED). San José, Costa Rica. p. 215-236.
- 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. (Inédito).
- HANSON, P. 1991. Los parasitoides asociados al cafeto en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 20-21: 8-10.
- HILJE, L; CARTIN, V; MARCH, E. 1989. El combate de plagas agrícolas dentro del contexto histórico costarricense. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 14: 68-86.
- HÖLLDOBLER, B; WILSON, EO. 1990. *The ants*. The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 571 p.
- ICAFFE. 1998. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, Costa Rica. 110 p.
- ICAFFE. 2000. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. San José, Costa Rica. 135p.
- KREBS, CJ. 1978. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. 2 ed. Harper & Row, New York. 678 p.
- KREBS, CJ. 1989. *Ecological methodology*. Harper & Row. New York. 654 p.
- LLANDERAL, T. 1998. Diversidad del dosel de sombra en cafetales de Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE. Costa Rica. 59 p.
- LONGINO, JT. 2001. Identificación de hormigas (entrevista). La Selva, Sarapiquí, CR, Proyecto ALAS, Estación Biológica OET.
- LONGINO, JT. 1997. Costa Rican ant identification resources. Homepage (en línea). Turrialba. CR. Consultado 1 Ago 2001. Disponible en http://www.evergreen.edu/user/serv_res/research/arthropod/AntsofCostaRica.html
- LONGINO, JT.; HANSON, P.E. 1995. The ants (Formicidae) *In* Hanson, P.E. and Gauld, I.D. *The Hymenoptera of Costa Rica*. New York. Oxford University Press and The Natural History Museum. 893 p.
- MAGURRAN, AE. 1989. *Diversity and its measurement*. Croon Helm. London, England, UK. 179 p.
- MAJER, JD. 1993. Comparison of the arboreal ant mosaic in Ghana, Brazil, Papua New Guinea and Australia- Its structure and influence on arthropod diversity. *In* La Salle, J. and Gauld, ID. (eds.). *Hymenoptera and biodiversity*. CAB International. Wallingford, U.K. p. 115-141.

- MAJER, JD; DELABIE, JH.; SMITH, RB. 1994. Arboreal ant community patterns in Brazilian cocoa farms. *Biotropica* 26(1): 73-83.
- NESTEL, D; DICKSCHEN, F; ALTIERI, M. 1992. Diversity patterns of soil macro-Coleoptera in Mexican shade and unshaded coffee agroecosystem: An indication of habitat perturbation. *Biodiversity and Conservation* 2: 70-78.
- PERFECTO, I. 1994. Foraging behavior as a determinant of asymmetric competitive interaction between two ant species in a tropical agroecosystem. *Oecologia* 98: 184-192.
- PERFECTO, I; VANDERMEER, J. 1994. Understanding biodiversity loss in agroecosystems: Reduction of ant diversity resulting from transformation of the ecosystem in Costa Rica. *Entomology (Trends Agric. Sci.)* 2: 7-13.
- PERFECTO, I; SNELLING, R. 1995. Biodiversity and the transformation of a tropical agroecosystem: Ants in coffee plantations. *Ecological Applications* 5(4): 1084-1097.
- PERFECTO, I; VANDERMEER, J. 1996. Microclimatic changes and the indirect loss of ant diversity in a tropical agroecosystem. *Oecologia* 108: 577-583.
- PERFECTO, I; RICE, RA; GREENBERG, R; VAN DER VOORT, M. 1996a. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience* 46(8): 598-608.
- PERFECTO, I; VANDERMEER, J; HANSON, P; CARTIN, V. 1996b. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6: 935-945.
- PERFECTO, I; CASTIÑEIRAS, A. 1998. Development of the predaceous ants and their conservation in agroecosystems. In Barbosa, P. (ed.). *Conservation biological control*. Academic Press, New York. 396 p.
- PERFECTO, I; VANDERMEER, J. 1998. Biodiversity and pest control in agroforestry systems. *Agroforestry Forum* 9(2): 2-5.
- PERFECTO, I; 2001. Diversidad y potencial depredador de hormigas de hojarasca en un fragmento de bosque y dos matrices de café de diferente calidad de hábitat en el sur de México. p.20. (Inédito).
- PRICE, PW. 1975. *Insect ecology*. John Wiley & Sons. New York. 514 p.
- RICE, R. 1996. Coffee modernization and ecological changes in Northern Latin America. *Tea & Coffee Trade Journal*: 104-113.
- RICE, R; WARD, J. 1996. *Coffee, conservation, and commerce in the Western Hemisphere*. Washington DC. Smithsonian Migratory Bird Center. 47 p.
- RISCH, SJ; CARROL, CR. 1982. The ecological role of ants in two Mexican agroecosystems. *Oecologia* 55: 114-119.

- ROJAS, L; GODOY, C; HANSON, P; KLEINN, C; HILJE, L. 2001a. Hopper (Homoptera: Auchenorrhyncha) diversity in shaded coffee systems of Turrialba, Costa Rica. *Agroforestry Systems*. (In press).
- ROJAS, L; GODOY, C; HANSON, P; HILJE, L. 2001b. A survey of homopteran species (Auchenorrhyncha) in coffee, poró and laurel in shaded coffee plantations, in Turrialba, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 49 (3): 981-989.
- SAMPER, M. 1999. Trayectoria y viabilidad de las caficulturas centroamericanas. In Bertrand, B. y Rapidel, B. (eds.). *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. IICA, San José, Costa Rica. PROMECAFE-CIRAD-IRD-CCCR. 496 p.
- STARÝ, P; PIKE, KS. 1999. Uses of beneficial insect diversity in agroecosystem management. In Collins, WW; Qualset, CO. 1999. *Biodiversity in agroecosystems*. CRC Press. Boca Raton. p. 50-61.
- TOSI, J. 1969. Mapa ecológico de la República de Costa Rica, según la clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical.
- VASQUEZ, MR. 1996. El manejo de efluentes en el beneficiado del café en Costa Rica. In Memoria: *Agronomía y recursos Naturales ¿Puede la Agricultura Sostenible ser Competitiva?*. X Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales. III Congreso Nacional de Fitopatología. II Congreso Nacional de Suelos (1): 57-64.
- VELEZ H, M; BUSTILLO P, AE; POSADA F, FJ. 2001. Hormigas de la zona central cafetalera y perspectivas de su uso en el control de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). In XXVIII Congreso SOCOLEN, Colombia. P. 1.
- WAY, MJ. 1951. An insect pest of coconuts and its relationship to certain ant species. *Nature* 168: 301-302.
- WAY, MJ; CAMMELL, ME; BOLTON, B; KANAGARATNAM, P. 1989. Ants (Hymenoptera: Formicidae) as egg predators of coconut pests, especially in relation to biological control of the coconut caterpillar, *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Xyloryctidae), in Sri Lanka. *Bulletin of Entomological Research* 79: 219-233.
- WAY, MJ; KHOO, KC. 1991. Colony dispersion and nesting habits of the ants *Dolichoderus thoracicus* and *Oecophylla smaragdina* (Hymenoptera: Formicidae), in relation to their success as biological control agents on cocoa. *Bulletin of Entomological Research* 81: 341-350.
- WAY, MJ; KHOO, KC. 1992. Role of ants in pest management. *Annual Review of Entomology* 37: 479-503.
- WHEELER, WM. 1965. *Ants: Their structure, development and behavior*. New York. Columbia University Press. 663 p.
- WOLDA, H. 1981. Similarity indices, Sample size and diversity. *Oecologia* 50:296-302.

- WHEELER, WM. 1965. *Ants: Their structure, development and behavior*. New York. Columbia University Press. 663 p.
- WOLDA, H. 1981. Similarity indices, Sample size and diversity. *Oecologia* 50:296-302.
- ZAR, JH. 1996. *Biostatistical analysis*. 3ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. p.317-315.
- WILSON, EO. 1971. *The insect societies*. Cambridge, The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. 548 p.

ANEXOS

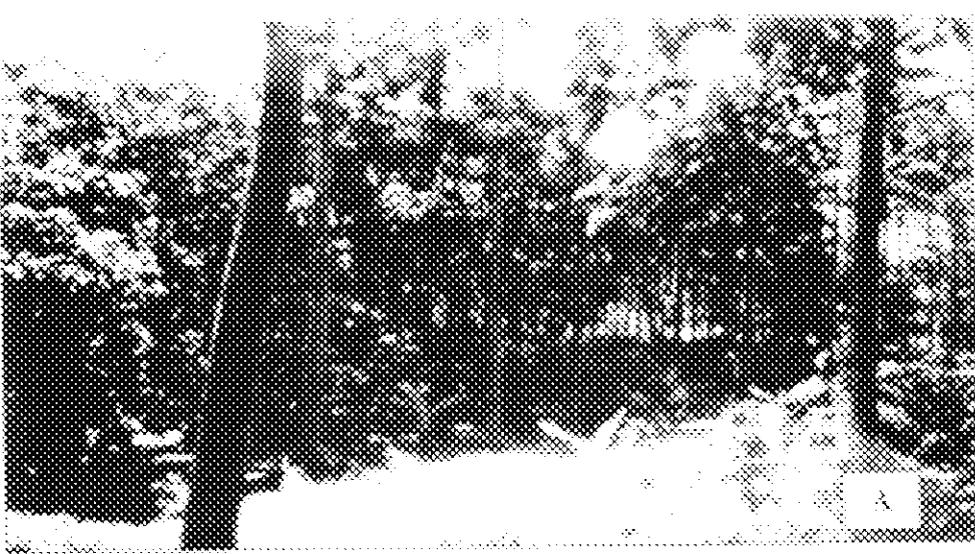
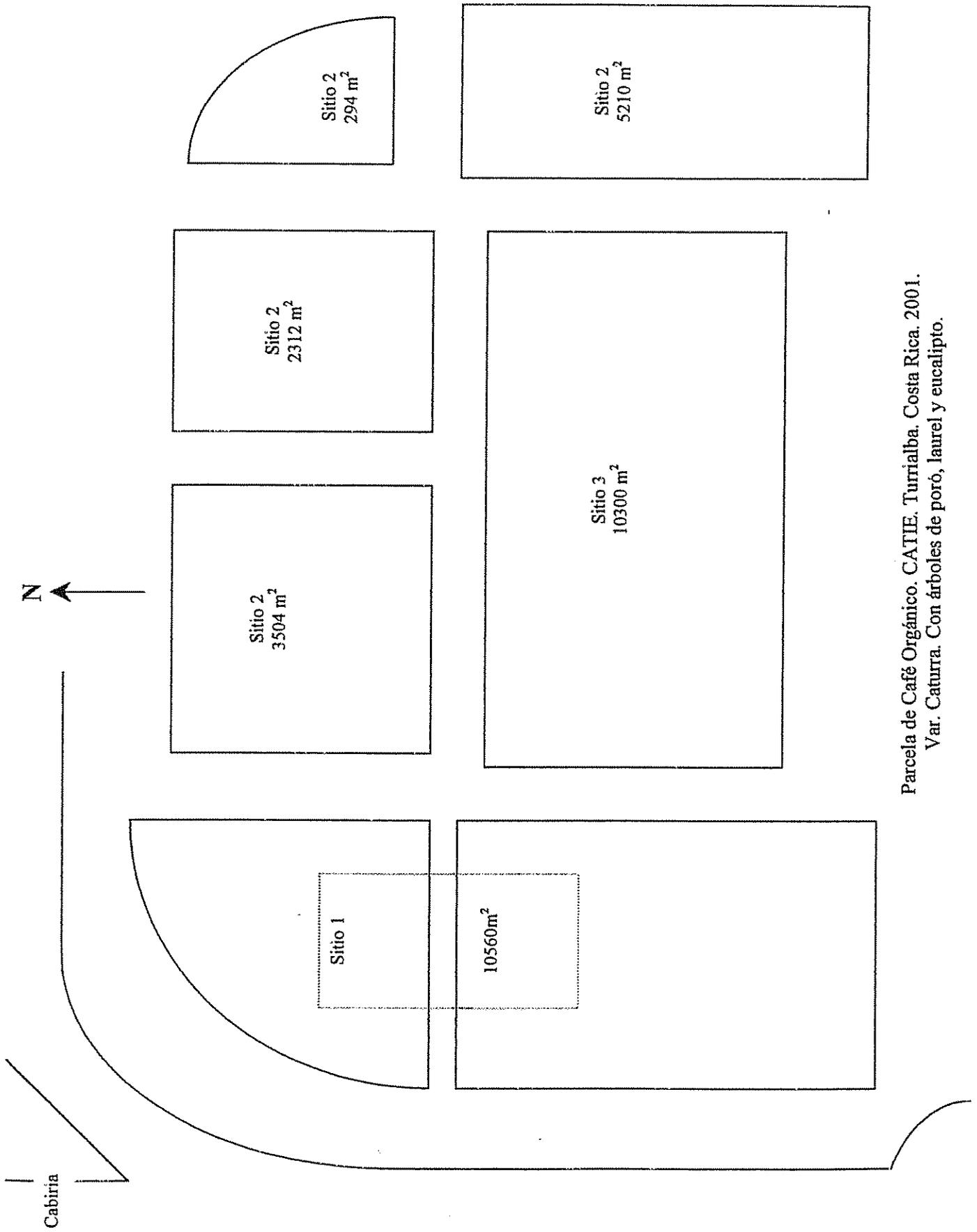
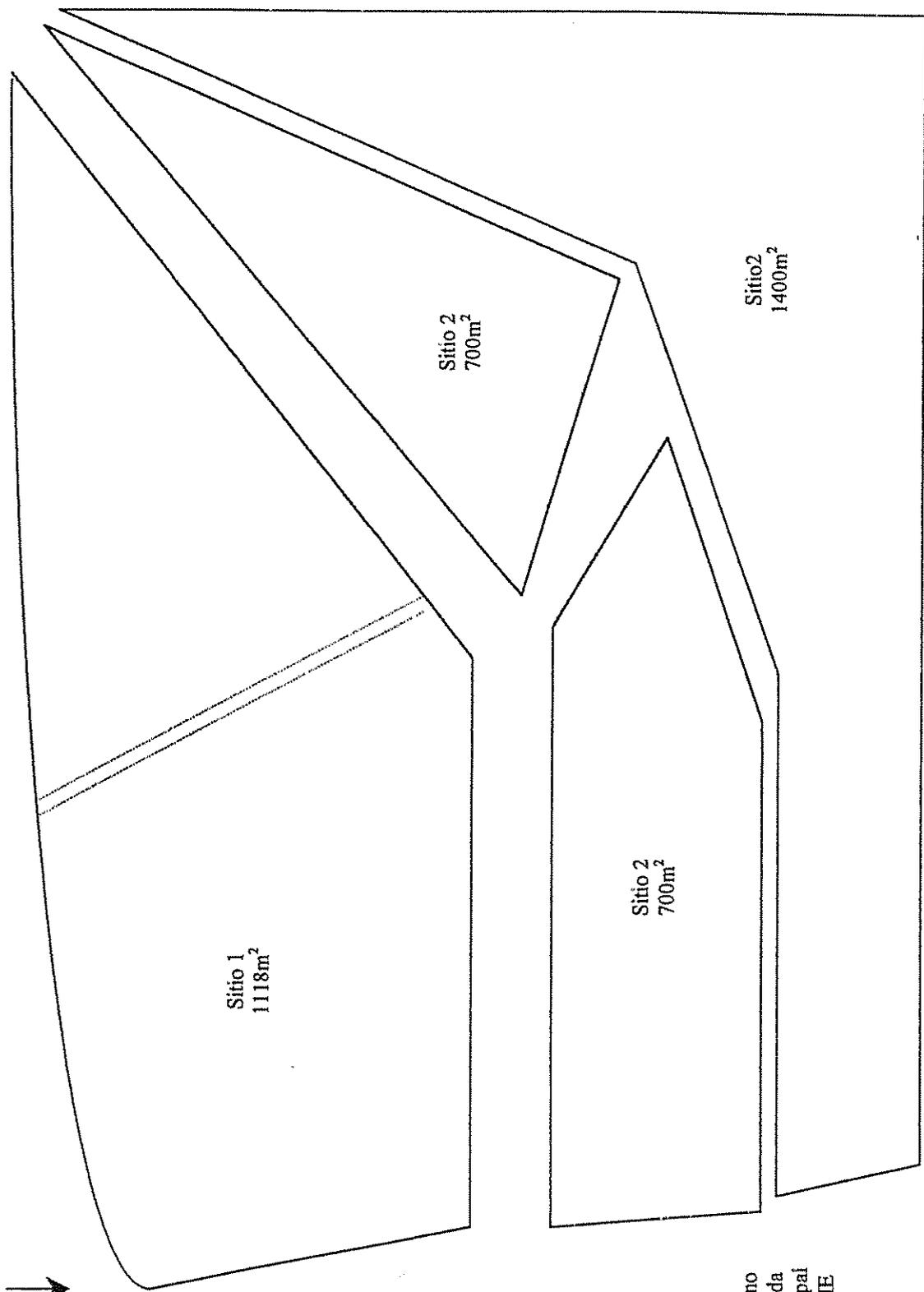


Figura 1. Aspecto general de las calanias visitadas: bosquecillo orgánico (A), parcela experimental (B) del sector Bumbala (B) y parcela bajo manejo comercial (C); CATH, Acahualte (Chal. Ruc. 2001).



Parcela de Café Orgánico. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001.
 Var. Caturra. Con árboles de poró, laurel y eucalipto.

N



Sitio 1
1118m²

Sitio 2
700m²

Sitio 2
700m²

Sitio 2
1400m²

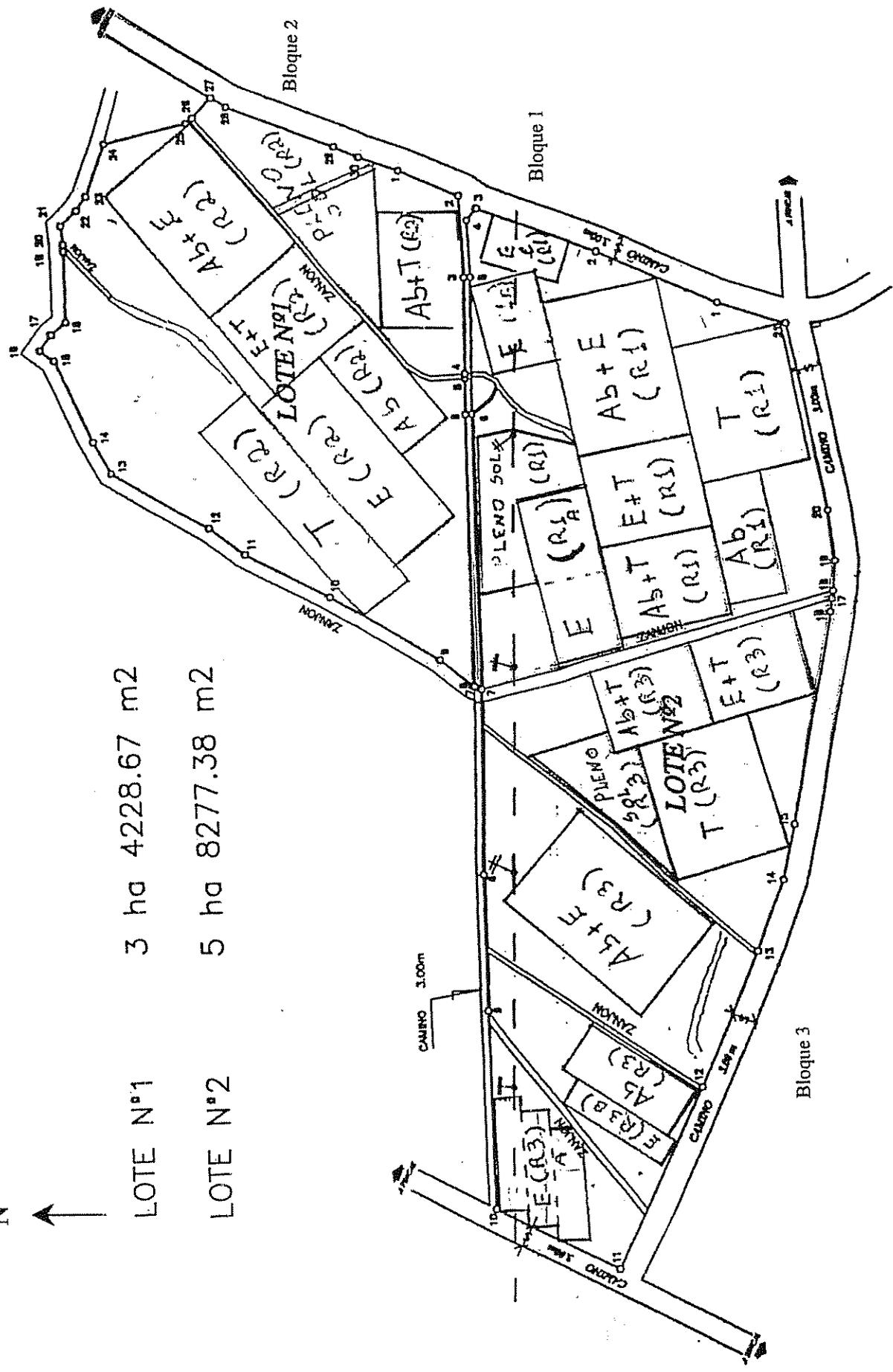
Camino
Entrada
Principal
CATIE

Parcela de Café Comercial. La Montaña. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001
Var. Costa Rica'95. Con árboles de poró.

N
↑

LOTE N°1 3 ha 4228.67 m2

LOTE N°2 5 ha 8277.38 m2



Parcela del ensayo de sistemas agroforestales con café, MIP- AF- Bonilla 2.
 CATIE, Turrialba, Costa Rica. 2001.

Anexo 2. Principales tratamientos originales del ensayo de sistemas agroforestales en café. Sector Bonilla 2. Programa CATIE-MIP-AF (NORAD). CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001.

Sistema	A	B	C	D	E	F	G
Tratamiento	<i>Erythrina poeppigiana</i>	<i>Terminalia amazonia</i>	<i>Abarema idiopoda</i>	<i>T. amazonia</i> + <i>A. idiopoda</i>	<i>T. amazonia</i> + <i>E. poeppigiana</i>	<i>A. idiopoda</i> + <i>E. poeppigiana</i>	Pleno sol
Característica Del árbol	Servicio fijador de nitrógeno	Maderable No fijador de nitrógeno	Maderable fijador de nitrógeno	-	-	-	-
Sub tratamientos	AC, MC, MO, LO	AC, MC, MO, LO	MC, MO	MC, MO	MC, MO	AC, MC, MO, LO	AC, MC

Anexo 3. Complejo de malezas predominantes encontradas en el Ensayo de Sistemas Agroforestales en Café. Sector Bonilla 2 Programa. CATIE-MIP-AF (NORAD) (Bloques I, II, II). CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001.

Nombre Común	Nombre científico	Categoría de maleza
1. Lechuguilla, pincel	<i>Emilia</i> sp.	CA
2. Canutillo	<i>Commelina diffusa</i>	Cang.
3. Mielcilla (compositae)	<i>Galinsoga ciliata</i> (Raf.)	CA
4. Chiquizá	<i>Borreria</i> sp.	CA
5. Dormilona	<i>Mimosa pudica</i>	CA
6. Mielecilla	No identif.	CA
7. Cyperus sp.	Hay 4 sp. Diferentes	MH
8. Berrillos	<i>Cardamine bonairensis</i>	CA
9. Churristate	Bejuco (No identificado)	MH
10. Mata palo	<i>Cassia tora</i> L.	CA
11. Juan parado	<i>Gnaphalium americanum</i>	CA
12. Pata de gallina	<i>Eleusine indica</i>	PH
13. Falta N. Com.	<i>Echinocloa crusgallis</i>	PH
14. Caña de azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	PH
15. Zacate amargo	<i>Paspalum</i> sp.	PH
16. Cansa gente	<i>Digitaria</i> sp.	PH
17. Cola de gato	N. científ. No identif.	HA
18. Palo de agua	N. científ. No identif.	HA
19. Zacate guinea	<i>Panicum maximum</i>	PH
20. Escobilla	<i>Sida</i> sp.	MH
21. Solo sí, meloncillo	<i>Momordica charantia</i> L.	CA
22. Tuetia	N. científ. No identif.	CA
23. Mucuna	N. científ. No identif.	CA
24. Falta N. Com.	Flia. Solanacea	CA
25. Pasto bermuda, grama	<i>Cynodon dactylon</i>	PH
26. Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	CA
27. Falta N. Com.	<i>Eclipta alba</i> H.	CA
28. Bambiziño	<i>Setaria guiculata</i>	PH

Nota:

Estas fueron las malezas más predominantes en los tres bloques, existen otras menos predominantes que son coberturas anchas pequeñas que faltan por identificar. Responsable: Katuska Andrew

Anexo 5. Principales actividades de manejo e insumos aplicados a los diferentes sistemas de café establecidos por el Programa Regional MIP/AF en el sector Bonilla 2 Estación Experimental La Montaña. CATIE. Turrialba Costa Rica 2001.

	Levemente orgánico (LO)	Medianamente orgánico (MO)	Medianamente convencional (MC)	Convencional (CN)
Tipos de enmiendas del suelo	Pulpa de café 1kg/pta Bocachi 500gr/pta	Pulpa de café 2 kg/pta	Fertilizante químico 10-30-10 20 gr/pta	Fertilizante químico 10-30-10 40 gr/pta
Manejo de enfermedades	No	Aplicaciones foliares de productos botánicos y biológicos	Uso infrecuente de fungicidas comerciales	Uso calendarizado de fungicidas comerciales
Manejo de insectos	Recolección granos en post-cosecha	Aplicaciones foliares de productos botánicos y biológicos, prácticas agrícolas	Prácticas agrícolas y uso infrecuente de insecticidas convencionales	Prácticas agrícolas y uso frecuente de insecticidas convencionales
Manejo de malezas	Chapea de malezas con motoguadaña y machete. En surco y en calle	Chapea de malezas con motoguadaña y machete. En surco y en calle	Round-up + Ally + Adherente Chapea de malezas con motoguadaña y machete. En surco y en calle	Round-up + Ally + Adherente Chapea de malezas con motoguadaña y machete. En surco y en calle

Fuente: Haggart *et al.* (2000).

Anexo 6. Valores registrados de precipitación en la estación
 meteorológica de CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Minima (%)
2001	1	1	32.2	95.7	90
2001	1	2	50.6	99.9	97
2001	1	3	43.2	99.3	95
2001	1	4	0.7	81.3	44
2001	1	5	0.0	87.4	58
2001	1	6	12.3	92.5	70
2001	1	7	2.1	92.4	75
2001	1	8	1.3	89.3	65
2001	1	9	0.4	86.0	56
2001	1	10	0.0	86.2	60
2001	1	11	0.0	82.8	57
2001	1	12	0.0	86.5	64
2001	1	13	0.6	86.6	61
2001	1	14	0.0	82.1	45
2001	1	15	0.1	83.8	60
2001	1	16	0.0	83.8	50
2001	1	17	0.0	78.6	43
2001	1	18	0.0	83.7	51
2001	1	19	0.0	84.2	56
2001	1	20	6.0	92.6	79
2001	1	21	3.0	87.4	56
2001	1	22	5.2	88.6	61
2001	1	23	16.6	97.9	91
2001	1	24	10.9	98.5	90
2001	1	25	13.6	90.8	69
2001	1	26	37.0	97.8	91
2001	1	27	0.1	84.1	57
2001	1	28	0.0	80.8	51
2001	1	29	0.0	83.8	50
2001	1	30	0.0	84.8	51
2001	1	31	0.0	83.4	54
		SUMA	235.9		
		PROMEDIO	7.6	88.1	64.4

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Minima (%)
2001	2	1	0.0	84.8	60
2001	2	2	4.4	84.4	54
2001	2	3	0.1	79.5	50
2001	2	4	0.0	84.2	61
2001	2	5	3.4	91.2	70
2001	2	6	0.7	82.4	53
2001	2	7	0.8	90.3	64
2001	2	8	9.1	93.3	75
2001	2	9	15.6	92.0	64
2001	2	10	76.5	94.8	79
2001	2	11	44.2	86.2	55
2001	2	12	4.0	90.4	65
2001	2	13	15.0	93.5	65
2001	2	14	1.7	89.5	64
2001	2	15	3.9	91.7	66
2001	2	16	10.7	92.3	67
2001	2	17	0.2	85.5	55

2001	2	18	5.6	87.0	52
2001	2	19	0.1	78.0	44
2001	2	20	0.0	78.8	43
2001	2	21	0.0	80.8	47
2001	2	22	0.0	82.5	51
2001	2	23	0.0	83.1	49
2001	2	24	0.0	82.9	54
2001	2	25	0.0	82.4	50
2001	2	26	0.0	85.2	50
2001	2	27	0.0	82.5	59
2001	2	28	0.0	81.8	54
		SUMA	196.0		
		PROMEDIO	7.0	86.1	57.9

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Mínima (%)
2001	3	1	1.7	84.3	60
2001	3	2	0.0	83.2	52
2001	3	3	0.0	86.7	65
2001	3	4	0.3	86.4	65
2001	3	5	0.0	86.4	60
2001	3	6	2.7	81.7	40
2001	3	7	14.0	92.4	66
2001	3	8	4.1	91.0	70
2001	3	9	0.0	85.5	60
2001	3	10	0.0	85.0	55
2001	3	11	0.0	82.2	45
2001	3	12	0.0	81.9	55
2001	3	13	0.0	81.2	58
2001	3	14	0.0	82.5	49
2001	3	15	0.0	85.3	56
2001	3	16	0.0	84.2	55
2001	3	17	0.0	85.0	60
2001	3	18	0.2	84.3	55
2001	3	19	0.0	83.8	57
2001	3	20	0.0	78.5	39
2001	3	21	0.0	80.3	52
2001	3	22	0.5	88.8	55
2001	3	23	2.8	91.3	70
2001	3	24	0.6	85.7	50
2001	3	25	0.1	90.5	64
2001	3	26	9.7	90.5	63
2001	3	27	0.2	91.7	64
2001	3	28	1.2	88.3	60
2001	3	29	0.0	82.9	51
2001	3	30	0.0	84.4	53
2001	3	31	0.0	84.3	57
		SUMA	38.1		
		PROMEDIO	1.2	85.5	56.8

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Mínima (%)
2001	4	1	0.0	87.3	65
2001	4	2	0.2	87.3	64
2001	4	3	0.2	83.2	58
2001	4	4	0.0	78.5	49
2001	4	5	0.0	79.8	42
2001	4	6	0.0	83.3	56

2001	4	7	0.0	84.2	49
2001	4	8	13.2	98.0	85
2001	4	9	34.3	99.1	95
2001	4	10	11.8	90.8	61
2001	4	11	1.7	85.4	58
2001	4	12	6.5	90.9	59
2001	4	13	35.5	92.0	64
2001	4	14	61.2	91.2	69
2001	4	15	24.4	98.2	89
2001	4	16	8.6	89.4	64
2001	4	17	0.2	88.7	60
2001	4	18	13.8	97.3	77
2001	4	19	11.8	91.4	65
2001	4	20	8.4	91.3	70
2001	4	21	1.7	84.6	56
2001	4	22	0.0	84.7	60
2001	4	23	0.0	82.8	50
2001	4	24	0.0	82.9	51
2001	4	25	0.0	85.4	59
2001	4	26	0.0	82.4	54
2001	4	27	0.1	85.8	55
2001	4	28	6.3	92.3	65
2001	4	29	111.8	96.0	70
2001	4	30	27.5	92.3	64
		SUMA	379.2		
		PROMEDIO	12.64	88.6	62.8

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Mínima (%)
2001	5	1	0.3	90.3	65
2001	5	2	0.0	88.3	61
2001	5	3	0.0	84.0	60
2001	5	4	0.0	83.3	60
2001	5	5	0.0	79.8	55
2001	5	6	0.0	81.1	45
2001	5	7	0.0	84.1	51
2001	5	8	0.0	82.9	54
2001	5	9	1.7	84.1	45
2001	5	10	0.0	83.8	51
2001	5	11	0.0	88.4	61
2001	5	12	0.0	86.4	54
2001	5	13	2.3	89.8	60
2001	5	14	0.5	85.8	55
2001	5	15	11.3	91.8	61
2001	5	16	17.0	86.7	61
2001	5	17	12.5	87.0	60
2001	5	18	0.5	88.7	63
2001	5	19	3.6	87.8	64
2001	5	20	0.0	85.6	58
2001	5	21	15.4	88.2	59
2001	5	22	3.8	86.0	55
2001	5	23	43.4	85.9	55
2001	5	24	1.6	85.9	59
2001	5	25	0.2	88.4	69
2001	5	26	0.0	81.0	50
2001	5	27	0.5	82.5	54
2001	5	28	0.0	85.2	56
2001	5	29	0.4	87.3	60
2001	5	30	2.4	87.3	58

2001	5	31	1.3	96.3	85
		SUMA	118.70		
		PROMEDIO	3.83	86.2	58.2

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Minima (%)
2001	6	1	0.4	87.9	60
2001	6	2	35.9	85.8	55
2001	6	3	71.3	86.3	63
2001	6	4	0.0	86.3	60
2001	6	5	1.8	87.9	61
2001	6	6	1.4	88.2	59
2001	6	7	5.6	98.8	90
2001	6	8	13.9	87.2	57
2001	6	9	6.2	94.3	70
2001	6	10	2.4	88.1	63
2001	6	11	0.5	88.9	65
2001	6	12	0.2	86.1	60
2001	6	13	0.0	87.0	61
2001	6	14	0.8	88.2	63
2001	6	15	0.0	80.9	43
2001	6	16	8.5	86.5	60
2001	6	17	1.7	88.8	64
2001	6	18	7.2	86.3	54
2001	6	19	11.8	90.7	66
2001	6	20	13.6	89.7	71
2001	6	21	3.6	94.5	70
2001	6	22	0.0	89.7	64
2001	6	23	0.0	88.1	69
2001	6	24	28.3	93.2	66
2001	6	25	10.9	92.8	70
2001	6	26	41.5	97.4	87
2001	6	27	39.4	97.9	89
2001	6	28	24.4	96.7	84
2001	6	29	51.7	92.8	65
2001	6	30	2.8	97.2	85
		SUMA	385.80		
		PROMEDIO	12.86	90.1	66.5

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Minima (%)
2001	7	1	4.7	87.3	55
2001	7	2	2.8	88.6	60
2001	7	3	1.2	89.8	61
2001	7	4	47.2	92.1	65
2001	7	5	60.7	95.1	73
2001	7	6	8.6	92.3	66
2001	7	7	49.2	90.3	59
2001	7	8	18.6	91.6	66
2001	7	9	1.4	90.9	70
2001	7	10	55.3	91.1	61
2001	7	11	12.8	91.3	65
2001	7	12	0.0	86.3	59
2001	7	13	0.7	87.3	62
2001	7	14	0.9	89.2	65
2001	7	15	0.0	83.9	59
2001	7	16	1.6	86.3	56
2001	7	17	0.0	87.3	63

2001	7	18	26.7	96.3	80
2001	7	19	41.0	92.4	61
2001	7	20	0.1	90.4	79
2001	7	21	26.4	93.3	69
2001	7	22	0.0	89.2	66
2001	7	23	0.0	83.5	60
2001	7	24	0.0	85.2	61
2001	7	25	0.0	85.1	52
2001	7	26	0.0	83.8	56
2001	7	27	0.0	82.7	51
2001	7	28	0.2	82.4	50
2001	7	29	0.0	86.9	60
2001	7	30	8.3	91.1	67
2001	7	31	0.2	87.8	65
		SUMA	368.6		
		PROMEDIO	11.9	88.7	62.6

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Mínima (%)
2001	8	1	2.1	86.0	57
2001	8	2	0.8	88.5	58
2001	8	3	4.2	90.8	62
2001	8	4	3.9	85.8	56
2001	8	5	3.2	92.6	65
2001	8	6	1.4	88.7	55
2001	8	7	16.9	91.2	64
2001	8	8	6.2	89.1	65
2001	8	9	0.1	88.7	55
2001	8	10	0.0	90.8	64
2001	8	11	11.0	92.7	68
2001	8	12	4.2	91.5	69
2001	8	13	23.3	90.2	64
2001	8	14	0.0	88.1	64
2001	8	15	6.3	88.7	59
2001	8	16	85.7	94.2	79
2001	8	17	13.5	90.7	69
2001	8	18	97.5	93.6	75
2001	8	19	0.0	81.0	43
2001	8	20	0.0	83.0	52
2001	8	21	74.7	84.8	55
2001	8	22	9.6	88.0	58
2001	8	23	5.3	89.3	59
2001	8	24	0.0	85.5	60
2001	8	25	0.0	85.3	59
2001	8	26	0.0	87.8	57
2001	8	27	2.8	85.8	56
2001	8	28	12.5	88.8	67
2001	8	29	0.6	87.9	61
2001	8	30	16.6	86.5	56
2001	8	31	0.0	86.7	56
		SUMA	402.4		
		PROMEDIO	13.0	88.5	60.9

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Mínima (%)
2001	9	1	7.6	87.4	60
2001	9	2	0.7	85.8	61
2001	9	3	5.8	87.9	61

2001	9	4	0.3	89.6	61
2001	9	5	14.9	87.3	58
2001	9	6	0.2	85.1	59
2001	9	7	12.0	88.7	59
2001	9	8	1.4	86.2	55
2001	9	9	12.9	85.0	60
2001	9	10	1.5	87.6	60
2001	9	11	0.0	83.4	55
2001	9	12	0.0	84.4	54
2001	9	13	3.6	85.5	55
2001	9	14	8.6	88.4	60
2001	9	15	11.0	86.1	60
2001	9	16	0.0	87.4	70
2001	9	17	0.0	84.4	56
2001	9	18	1.2	85.8	64
2001	9	19	0.0	85.0	61
2001	9	20	0.0	83.5	56
2001	9	21	6.6	86.6	55
2001	9	22	9.0	89.2	59
2001	9	23	0.0	84.8	60
2001	9	24	0.0	86.5	60
2001	9	25	4.0	84.9	55
2001	9	26	0.0	83.3	59
2001	9	27	2.3	84.1	60
2001	9	28	56.2	86.0	54
2001	9	29	0.2	77.0	45
2001	9	30	0.5	81.5	51
SUMA			160.5		
PROMEDIO			5.4	85.6	58.1

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Mínima (%)
2001	10	1	6.9	87.3	59
2001	10	2	5.1	86.9	55
2001	10	3	4.1	89.2	56
2001	10	4	2.0	86.8	60
2001	10	5	13.4	90.9	65
2001	10	6	5.6	87.9	49
2001	10	7	0.8	84.3	57
2001	10	8	9.4	87.0	60
2001	10	9	0.0	86.3	61
2001	10	10	0.0	82.9	55
2001	10	11	0.0	86.0	60
2001	10	12	5.6	85.5	55
2001	10	13	0.0	86.3	59
2001	10	14	0.4	89.5	70
2001	10	15	2.8	87.3	56
2001	10	16	6.6	86.2	60
2001	10	17	0.7	85.7	56
2001	10	18	1.1	83.8	54
2001	10	19	0.1	83.8	51
2001	10	20	94.4	87.0	55
2001	10	21	1.0	84.4	56
2001	10	22	1.0	87.1	54
2001	10	23	12.1	86.5	55
2001	10	24	4.4	88.3	62
2001	10	25	0.1	86.9	55
2001	10	26	1.9	86.3	61
2001	10	27	2.9	85.3	61

2001	10	28	0.0	84.2	60
2001	10	29	4.9	88.5	62
2001	10	30	0.2	84.8	60
2001	10	31	0.4	85.3	56
		SUMA	187.9		
		PROMEDIO	6.1	86.4	57.9

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Minima (%)
2001	11	1	1.1	87.3	57
2001	11	2	0.3	85.8	55
2001	11	3	4.6	84.0	55
2001	11	4	0.0	84.6	50
2001	11	5	1.6	85.0	59
2001	11	6	14.9	89.7	69
2001	11	7	61.7	97.8	90
2001	11	8	9.1	88.8	56
2001	11	9	9.1	90.1	60
2001	11	10	8.9	90.9	71
2001	11	11	3.3	87.9	65
2001	11	12	8.1	90.8	63
2001	11	13	6.4	88.6	70
2001	11	14	16.9	90.1	65
2001	11	15	9.1	90.0	74
2001	11	16	10.5	90.4	64
2001	11	17	12.4	94.3	79
2001	11	18	25.5	89.8	64
2001	11	19	18.0	89.6	64
2001	11	20	4.9	89.5	64
2001	11	21	37.4	98.0	90
2001	11	22	29.6	97.9	86
2001	11	23	1.2	91.4	64
2001	11	24	1.8	90.4	60
2001	11	25	7.7	91.4	70
2001	11	26	0.0	86.9	59
2001	11	27	0.5	85.3	59
2001	11	28	0.0	85.1	55
2001	11	29	0.0	84.8	59
2001	11	30	7.1	86.4	60
		SUMA	311.7		
		PROMEDIO	10.4	89.4	65.2

Año	Mes	Día	Precip. (mm)	Humedad Relativa	
				Media (%)	Minima (%)
2001	12	1	0.0		
2001	12	2	0.0		
2001	12	3			
2001	12	4			
2001	12	5			
2001	12	6			
2001	12	7			
2001	12	8			
2001	12	9			
2001	12	10			
2001	12	11			
2001	12	12			
2001	12	13			
2001	12	14			

2001	12	15			
2001	12	16			
2001	12	17			
2001	12	18			
2001	12	19			
2001	12	20			
2001	12	21			
2001	12	22			
2001	12	23			
2001	12	24			
2001	12	25			
2001	12	26			
2001	12	27			
2001	12	28			
2001	12	29			
2001	12	30			
2001	12	31			
		SUMA	0.0		
		PROMEDIO	0.0	# DIV/0!	# DIV/0!

Anexo 7. Índices de similitud de especies de hormigas, en las seis parcelas muestreadas, para los diferentes hábitats. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 2001.

Sistema	Hábitat	Índices		
		Sorensen	Jaccard	Morisita
TO-LO	C-C	0.31	0.10	0.11
	C-P	0.36	0.17	0.19
	C-S	0.36	0.07	0.13
	P-P	0.00	0.00	0.00
	P-S	0.37	0.12	0.35
	S-S	0.33	0.12	0.35
TO-MO	C-C	0.17	0.13	0.14
	C-P	0.36	0.19	0.20
	C-S	0.46	0.08	0.13
	P-P	0.29	0.24	0.41
	P-S	0.38	0.13	0.35
	S-S	0.33	0.11	0.35
TO-MC	C-C	0.31	0.10	0.11
	C-P	0.38	0.13	0.16
	C-S	0.36	0.05	0.12
	P-P	0.40	0.16	0.38
	P-S	0.29	0.07	0.34
	S-S	0.25	0.06	0.33
TO-CN	C-C	0.31	0.13	0.16
	C-P	0.38	0.11	0.16
	C-S	0.43	0.13	0.17
	P-P	0.40	0.15	0.38
	P-S	0.35	0.14	0.41
	S-S	0.31	0.12	0.42

TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico;
 MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial C= café; P= poró;
 S=suelo

Continuación. Anexo 7

Sistema	Hábitat	Indices		
		Sorensen	Jaccard	Morisita
TO-CM	C-C	0.54	0.32	0.30
	C-P	0.43	0.21	0.20
	C-S	0.40	0.14	0.15
	P-P	0.53	0.31	0.42
	P-S	0.41	0.22	0.37
	S-S	0.37	0.20	0.36
LO-MO	C-C	0.40	0.98	1.00
	C-P	0.71	0.32	0.99
	C-S	0.50	0.25	1.00
	P-P	1.00	0.79	0.99
	P-S	0.75	0.66	0.98
	S-S	0.75	0.96	1.00
LO-MC	C-C	0.57	0.60	1.00
	C-P	0.57	0.20	1.00
	C-S	0.50	0.17	1.00
	P-P	0.61	0.57	0.99
	P-S	0.75	0.48	0.98
	S-S	0.55	0.81	1.00
LO-CN	C-C	1.00	1.00	1.00
	C-P	0.57	0.17	1.00
	C-S	0.44	0.17	0.99
	P-P	0.63	0.55	0.99
	P-S	0.67	0.55	1.00
	S-S	0.5	0.82	0.99

TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico;
 MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial. C= café; P= poró;
 S=suelo

Continuación Anexo 7

Sistema	Hábitat	Indices		
		Sorensen	Jaccard	Morisita
LO-CM	C-C	0.44	0.60	0.96
	C-P	0.44	0.72	0.99
	C-S	0.40	0.63	1.00
	P-P	0.50	0.60	0.99
	P-S	0.60	0.70	0.99
	S-S	0.60	0.46	1.00
MO-MC	C-C	0.33	0.60	1.00
	C-P	0.33	0.20	1.00
	C-S	0.33	0.20	1.00
	P-P	0.63	0.74	1.00
	P-S	0.63	0.74	1.00
	S-S	0.63	0.90	1.00
MO-CN	C-C	0.40	0.53	1.00
	C-P	0.33	0.18	1.00
	C-S	0.25	0.17	0.99
	P-P	0.63	0.66	1.00
	P-S	0.67	0.66	1.00
	S-S	0.67	0.78	0.99
MO-CM	C-C	0.25	0.61	0.97
	C-P	0.25	0.73	0.99
	C-S	0.22	0.63	1.00
	P-P	0.50	0.50	1.00
	P-S	0.60	0.59	1.00
	S-S	0.78	0.48	1.00

TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico;
 MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial. C= café; P= poró;
 S=suelo.

Continuación. Anexo 7

Sistema	Hábitat	Indices		
		Sorensen	Jaccard	Morisita
MC-CN	C-C	0.83	0.89	1.00
	C-P	0.71	0.37	1.00
	C-S	0.56	0.36	0.99
	P-P	1.00	0.92	1.00
	P-S	0.75	0.91	0.99
	S-S	0.75	0.91	0.99
MC-CM	C-C	0.55	0.81	0.97
	C-P	0.75	0.80	1.00
	C-S	0.67	0.95	1.00
	P-P	0.75	0.33	1.00
	P-S	0.50	0.40	1.00
	S-S	0.50	0.40	1.00
CN-CM	C-C	0.44	0.77	0.97
	C-P	0.63	0.75	1.00
	C-S	0.56	0.86	1.00
	P-P	0.75	0.28	1.00
	P-S	0.50	0.34	1.00
	S-S	0.70	0.34	0.99

TO = totalmente orgánico; LO = levemente orgánico; MO = medianamente orgánico;
 MC = medianamente convencional; CN = convencional; CM = comercial C= café; P= poró;
 S=suelo.