

**INTENSIDAD DE MANEJO DEL AGROECOSISTEMA DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.)
(MONOCULTIVO Y POLICULTIVO) Y RIQUEZA DE ESPECIES DE HORMIGAS
GENERALISTAS**

María Cristina Gallego Ropero

*Universidad del Valle. Departamento de Biología. Cali, Colombia; correo electrónico:
macrisgaro@yahoo.es*

RESUMEN

Se evaluó el impacto que puede ejercer la intensificación del cultivo de café y el tipo de manejo agrícola sobre la diversidad de hormigas. El estudio se realizó en siete fincas cafeteras bajo dos sistemas de sombra: policultivo (cafetal con árboles de sombrío) y monocultivo (cafetal a plena exposición). La caracterización vegetal de cada cafetal se realizó con base en ocho variables del hábitat. Las hormigas se colectaron en 20 estaciones de un transecto de 200 m/finca, utilizando cebos de atún en estratos epígeo y arbóreo. También se midieron la relación entre la estructura y composición vegetal de cada finca con la riqueza de hormigas asociadas, durante períodos lluviosos y secos. Un Análisis de Componentes Principales agrupó las ocho variables en dos componentes: la primera permitió delimitar la composición del agroecosistema, mientras que la segunda reflejó el grado del desarrollo de la planta en su componente arbóreo. Se encontró una correlación altamente significativa ($R=0.9838$, $P=0.00032$) entre el primer componente y el índice de intensidad de manejo. En total se observaron 54 especies de hormigas, 48 en poli y 18 en monocultivo. El porcentaje de cubrimiento entre poli y monocultivo mostró una tendencia al descenso. Así mismo, el estimador jackknife decreció con la intensificación. El índice de diversidad de Shannon fue más alto en el policultivo. En conclusión, la composición y la estructura de la planta afecta la diversidad de hormigas asociada que puede ser de utilidad en los programas de control biológico.

Palabras clave: Cafetales, Diversidad de hormigas, Formicidae, Índice de manejo, Policultivo.

SUMMARY

It was evaluated the impact of intensifying coffee production and the agricultural management on ant diversity. The study was carried out in seven coffee farms under two different shade management systems: Polyculture (coffee with shading trees) and monoculture (coffee with no shading). Plant characterization for each coffee crop was done based on eight habitat variables. Ants were collected on 20 stations along a 200m. transect/farm, using tuna baits on epigeous and arboreal strata. The relation between plant structure and composition in each farm, with the richness of associated ants, during rainy and dry periods were also estimated. Principal Component Analysis grouped the eight variables in two components: the first one allowed to determine the plant composition of the agroecosystem while the second was reflex of the degree of plant development in its arboreal component. A high significant correlation was found ($R=0.9838$, $P=0.00032$) between the first component and the management intensity index. A total of 54 ant species was observed, 48 in polyculture and 18 in monoculture. Percentage cover between poly and monoculture showed a decreasing trend. jackknife estimator also decreased with intensification. Shannon's diversity index (H') was higher in polyculture. In conclusion, plant composition and structure affect associated ant diversity that may be part of biological control programs.

Key words: Ants diversit, Coffee crop, Formicidae, Management index, Polyculture.

INTRODUCCIÓN

Grandes extensiones de los paisajes de la tierra han sido transformados en sistemas productivos (Carrol 1990). Aproximadamente el 95% del área terrestre total está bajo la influencia del ser humano. Aunque mas del 60% de la tierra cultivable se utiliza para producción alimenticia y

maderable y sólo el 10% restante se encuentra en estado natural (reservas y parques naturales) (McNeely & Scherr 2003), paradójicamente, se conocen mucho mejor los ensamblajes de organismos de las áreas conservadas, que aquellos asociados a ecosistemas antrópicos (Pimentel et al. 1992).

En Colombia el Departamento Nacional de Planeación (1996) estimó que el 12% del territorio era utilizado en producción maderera, el 11% para consumo de leña y el 73.3% era resultado de la expansión agrícola. El cultivo del café representa el segundo renglón generador de divisas para el país con casi 870.000 has cultivadas. Cerca del 70% de los caficultores se adhieren a prácticas que se consideran intensivas (tecnificadas), es decir, usan hasta 10.000 plantas/ha, en especial de las variedades Caturra y Colombia (Baker 1999), con amplio uso de insumos químicos y poco o ningún sombrío tradicional. Estos contrastan con el restante 30%, quienes usan bajas densidades de siembra (<2000 árboles/ha), emplean variedades tradicionales (Borbón, Típica) y sombrío.

Aproximadamente el 90% de todos los animales descritos son artrópodos y el 95% de todos los ecosistemas terrestres son manejados por el ser humano (Pimentel et al. 1992; Western & Pearl 1989). Si bien la alta diversidad de producción en agroecosistemas tradicionales es comúnmente conocida, la diversidad de artrópodos es menos apreciada (Perfecto & Vandermeer 1994).

Las hormigas son uno de los grupos de artrópodos que han sido más estudiados como indicadores de la calidad de hábitats, debido a que requieren condiciones específicas en el ecosistema, permitiendo establecer el estado de intervención antrópica, en este caso particular las implicaciones que a nivel de los agroecosistemas se tienen por las actividades de la tecnificación de la caficultura.

Las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) constituyen uno de los grupos más diversos y abundantes especialmente en regiones tropicales (Jaffé et al. 1993; Fernández et al. 1996), son importantes en ecosistemas naturales y alterados (Majer 1983; Brown 1989) y cumplen una diversidad de funciones ecológicas en los ecosistemas, debido a que utilizan diversos estratos de nidificación, tienen un amplio espectro de alimentación y se asocian con numerosas especies de plantas y animales (Buckley 1982; Beattie 1985; Davidson & Mckey 1993). Las hormigas se encuentran casi en cualquier parte

(Agosti et al. 2000), son consideradas los principales removedores de sustrato, canalizadores de energía y dominantes de la fauna de insectos. El impacto de las hormigas en ecosistemas terrestres es sobresaliente en la mayoría de los hábitats, ya que se encuentran entre los principales depredadores de otros insectos e invertebrados pequeños (Hölldobler & Wilson 1990).

Teniendo en cuenta las características ecológicas de la Familia Formicidae, y sumado al panorama que ofrece la zona cafetera colombiana referente a la intensificación de la agricultura cafetera, la presente investigación evaluó el impacto que puede ejercer esta intensificación del cultivo de café y el tipo de manejo agrícola sobre la diversidad de hormigas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El municipio de Apía, Departamento de Risaralda (5° 08' N; 75° 56' W) se encuentra entre los 1400 y 1700 m. de elevación, es definida por Holdridge (Espinal 1967) como bosque húmedo premontano (bh-Pm), con topografía quebrada, temperatura promedio de 18-20 °C, humedad relativa del 80%, precipitación promedio anual de 2320 mm. Presenta de 9 a 11 meses de humedad durante el año.

De acuerdo con la clasificación de Moguel & Toledo (1999), se escogieron siete fincas cafeteras bajo dos sistemas de manejo de sombra: Policultivo comercial (PL) (cafetal con diferentes especies de árboles de sombrío) y monocultivo sin sombra (MN) (café a plena exposición) (Tabla 1).

Caracterización vegetal y mirmecológica de las fincas

En cada cafetal de cada una de las fincas del estudio, se escogieron dos puntos de referencia separados el uno del otro, aproximadamente, 200 metros. Para cada punto se midieron ocho variables habitacionales que pueden influir en la presencia y actividad depredadora de las hormigas.

Tabla 1. Características generales de las siete fincas seleccionadas en el estudio. Uso de plaguicidas¹: alto: al menos dos aplicaciones por año; moderado: al menos una aplicación por año; bajo: menos de 1 aplicación por año.

Finca	Código de manejo	Área (ha)	Altitud (m)	Pendiente (%)	Uso de plaguicidas (aplicaciones/año)
La Playita-2	PL1	19.0	1490	48.3	Ninguno (orgánico)
La Clarita	PL2	7.5	1550	43.8	Ninguno (orgánico)
La Esperanza	PL3	4.0	1500	34.6	Ninguno (no orgánico)
Buenos Aires	PL4	6.0	1440	40.0	Bajo
La Estrella	MN1	14.0	1470	17.5	Moderado
La Felisa	MN2	6.0	1480	32.5	Moderado
La María	MN3	3.0	1405	2.5	Alto

¹ insecticidas y herbicidas

En cada punto, se trazó un círculo de 24 metros de diámetro y se definieron dos ejes; uno oriente–occidente y el otro norte–sur, dentro del círculo. Sobre los ejes, cada cuatro metros, se tomaron datos de: heterogeneidad vertical (Mills et al. 1991) y cobertura de dosel (medida con un densiómetro esférico (Forestry Suppliers). Para estimar la riqueza y densidad arbórea por unidad de área, se recolectaron muestras de los árboles con perímetro superior a 25 cm (8.13 cm diámetro a pecho o DAP) que se encontraban dentro del círculo. Se midió el DAP de los árboles, su altura estimada (o medida con una vara) y se registró la cantidad de epífitas. Se contaron los arbustos de café que se encontraban en un segundo círculo de 10 metros de diámetro trazado dentro (y en el centro) del primer círculo y así se estimó la densidad de siembra del cultivo.

Para conocer las especies de hormigas, en cada finca se estableció un transecto de 200 m en el cual se marcaron 20 estaciones de muestreo cada 10 m. En cada estación se colocó un cebo de atún epígeo (dispuesto sobre el suelo) y otro arbóreo adherido a un cafeto; el cebo consiste de un trozo de papel de aproximadamente 10 x 15 cm con 3 g de atún en aceite. Cada cebo se dejó actuar durante una hora. Para establecer una relación entre la estructura y composición vegetal de cada finca con la riqueza de hormigas asociadas, se colocaron cebos de atún en los árboles de sombrío que se encontraban dentro del primer círculo trazado. Los cebos se colocaron en dos ocasiones: en la primera, se utilizaron las estaciones 1 a 10 y en la segunda las estaciones 11 a 20, cubriendo así un período lluvioso y uno seco.

El análisis estadístico de los datos fue realizado usando el programa SPSS 11 para Windows (1998). Se examinó la normalidad de las variables mediante una prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se realizó un Análisis de Componentes Principales con las medidas de las ocho variables habitacionales y así mismo, se les calculó el índice de intensidad de manejo de agroecosistemas de café establecido por Mas & Dietsch (2003). Sin embargo, no todas las variables tenidas en cuenta en su protocolo fueron medidas. Se calculó el índice de diversidad de Shannon (H'). Se estimó la riqueza del gremio de hormigas empleando estimadores basados en la incidencia (presencia ausencia) como Chao 2 y jackknife de segundo orden, por ser más apropiados en el análisis de grupos hiperdiversos y con distribuciones agrupadas (Longino 1994) y el estimador de incidencia basado en la cobertura (ACE), usando el programa EstimateS 5.1 (Colwell 2001). Para el análisis de la relación entre el valor del índice de manejo con la riqueza estimada de hormigas, se usó una regresión lineal simple (Zar 1996).

Se calculó el índice de complementariedad en las fincas monocultivo sin sombra y policultivo comercial, para determinar el grado de similitud o disimilitud entre ellas. Se utilizó la siguiente fórmula: $CJK = UJK / SJK$.

Donde $SJK = SJ + SK - VJK$; $UJK = SJ + SK - 2VJK$, SJ = Número de especies de hormigas observadas solo en fincas con sombra, SK = Número de especies de hormigas observadas solo en fincas sin sombra, VJK = Número de especies compartidas entre fincas con y sin sombra.

El índice presenta un rango de 0 a 1. En la medida que se aproxime a 0 hay un mayor grado de similitud.

RESULTADOS

Caracterización vegetal de las fincas

Los valores promedio de cada una de las ocho variables medidas en los círculos por parcela por

fincas mostraron amplias fluctuaciones según el manejo de las fincas involucradas en el estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio (Desviación estándar en paréntesis) de cada una de las variables medidas para caracterizar el hábitat de las fincas estudiadas (PL: policultivo; MN: monocultivo).

Variables	Playita2 PL1	Clarita PL2	Esperanza PL3	B/aires PL4	Felisa MN1	Estrella MN2	María MN3
Cobertura dosel (%)	49.4(±1.82)	86.9(±0.36)	80.9(±1.18)	74.3(±4.72)	25.3(±2.19)	24.2(±3.27)	36.9(±2.07)
Riqueza de árboles (# spp. / círculo)	5.0(±1.41)	3.5(±1.06)	8.0(±0.00)	2.0(±0.00)	1.5(±0.35)	1.0(±0.00)	0.5(±0.35)
Densidad árboles (# indiv. x m ²)	9.5(±1.76)	6.0(±0.70)	23.0(±1.41)	5.5(±1.14)	1.5(±0.35)	1.5(±0.35)	1.5(±1.10)
Epifitas (# plantas x árbol)	38.1(±3.36)	72.9(±9.09)	27.0(±7.81)	10.0(±7.07)	25.0(±17.68)	25.0(±17.68)	0.0(±1.06)
Altura árboles (m)	6.8(±0.16)	7.9(±0.31)	7.7(±0.19)	7.9(±0.28)	7.3(±1.04)	4.0(±0.70)	3.7(±0.57)
DAP árboles (cm)	22.3(±0.77)	23.4(±1.11)	20.7(±0.20)	30.5(±1.47)	21.2(±2.42)	22.9(±1.80)	22.5(±0.54)
Heterog. vertical (H')	1.2(±0.03)	1.51(±0.01)	1.4(±0.01)	1.4(±0.01)	0.9(±0.09)	0.6(±0.01)	0.7(±0.05)
Densidad de cafetos (#arbustos / 78.5m ²)	38.5(±1.06)	50.0(±1.41)	22.0(±3.53)	42.5(±1.76)	59.0(±7.77)	66.5(±0.35)	71.5(±3.88)

Las fincas con cafetales manejados como policultivo comercial fueron más diversas en su vegetación (Figura 1 A, B y C), y contuvieron en promedio una menor densidad de cafetos en un círculo de 78.5 m² (Figura 1 D) en comparación con las fincas monocultivo sin sombra.

El análisis de componentes principales logra agrupar las variables en dos componentes. El primer componente (explicó el 66.5% de la varianza total) y recoge las variables que determinan la Composición Vegetal del agroecosistema, como son: cobertura de dosel, riqueza de especies de árboles, densidad de árboles, heterogeneidad vertical y densidad de cafetos. En el componente dos (explicó el 15.65% de la varianza total) se reúnen las variables que

reflejan el Grado de Madurez Vegetal del componente arbóreo de las fincas, tales como: la altura y el DAP de los árboles (Tabla 3).

Los valores en negrilla en la Tabla 3, son la ponderación de la combinación lineal que indican la contribución de cada variable en el componente. Se podría sugerir que en la medida que en el agroecosistema de café la densidad de siembra es muy alta. se ve disminuida la cobertura boscosa. Esto implica una menor cantidad de árboles que proveen sombra al cultivo, al mismo tiempo menor abundancia y riqueza de estos; por consiguiente una menor heterogeneidad del sistema, como se observa en la Figura 1.

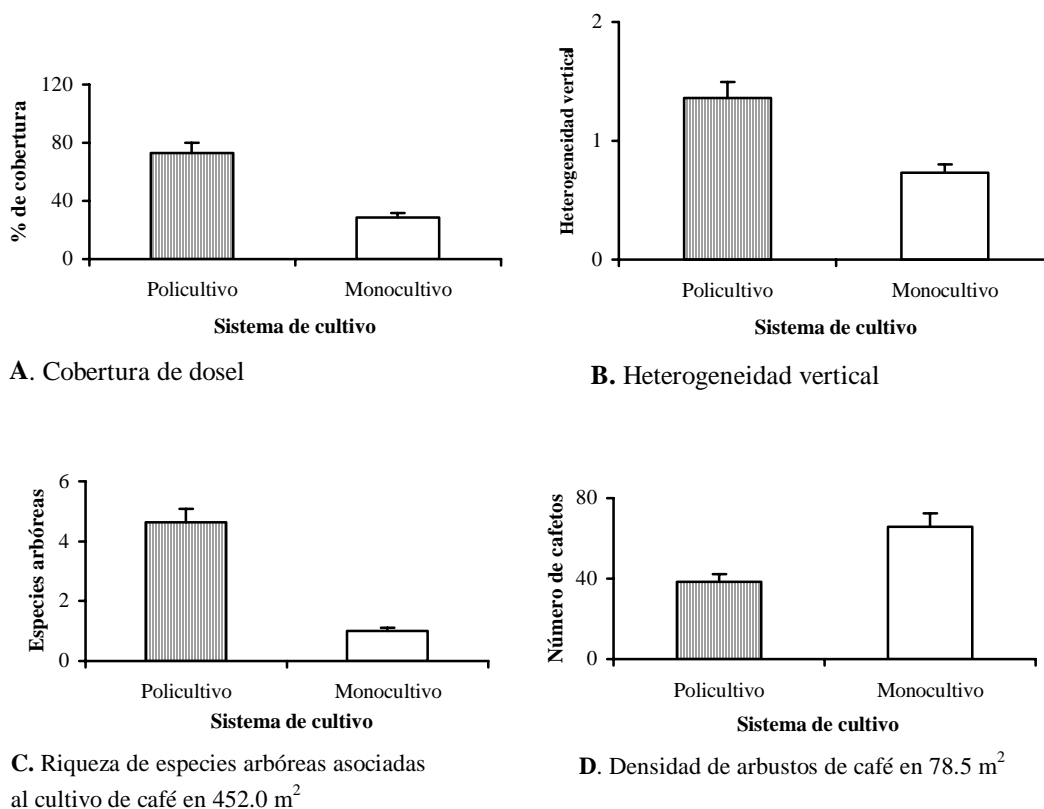


Figura 1. Promedio de las variables vegetales medidas en cada sistema de cultivo de cafetales en siete fincas (4 con sombra y 3 sin sombra) en Apía, Risaralda. La unidad medida de heterogeneidad vertical (B) se expresa en términos del índice de diversidad de Shannon.

Tabla 3. Componentes principales de las variables habitacionales (ver unidades en Tabla 1).

Variable	Componente 1	Componente 2
Cobertura dosel (%)	0.79943549	0.45066488
Riqueza de árboles (# spp/círculo)	0.93947611	0.14814099
Densidad de árboles (# indiv./m ²)	0.98528045	0.02348546
Epifitas (# plantas x árbol)	0.18904412	0.58021048
Altura de árboles (m)	0.52464015	0.73069721
DAP árboles (cm)	0.02074416	0.89668095
Heterogeneidad vertical (H')	0.79169894	0.57293014
Densidad de cafetos (#arbustos/78.5m ²)	-0.88334187	-0.37001291
Valor propio	5.324	1.252
% de varianza acumulado	66.550	82.204

La Figura 2, ilustra la agrupación de las variables en los dos componentes. Como se observa, las variables cobertura de dosel, riqueza y densidad de especies de árboles y heterogeneidad vertical, se ubican positivamente dentro del componente 1

y la variable densidad de cafetos negativamente. La variable DAP y altura de árboles se define en el componente 2, pero la variable epifitas no aporta un valor significativo en ninguno de los componentes.

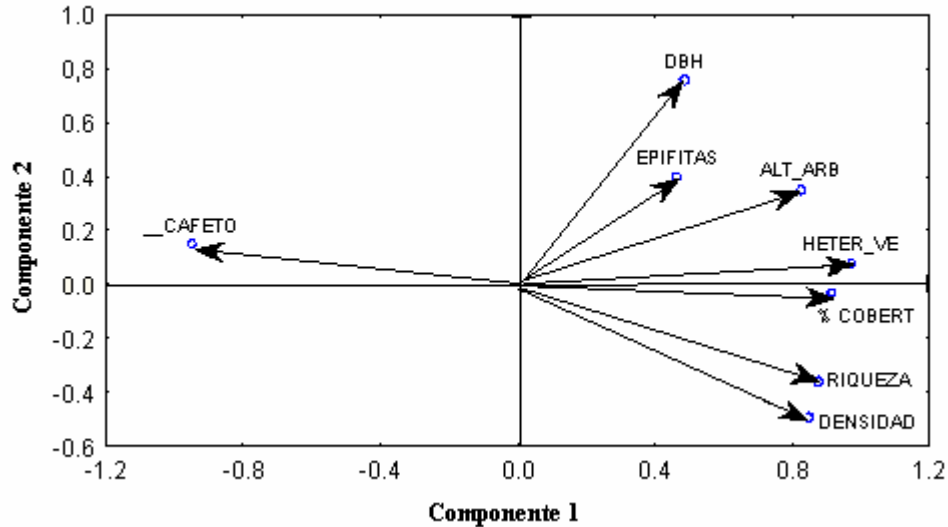


Figura 2. Distribución de las variables habitacionales dentro de cada uno de los dos componentes principales.

Índice de manejo

El índice concede igual peso a todas las variables seleccionadas en una escala de 0.0 a 1.0; donde 0.0 representa el menor manejo, un sistema casi “natural” y 1.0 representa el mayor manejo (Tabla 4). Para este estudio se tomaron en cuenta 8 variables, lo cual significa que la sumatoria del índice total está en un rango teórico posible entre 0 y 8 (Figura 3).

Se encontró una correlación altamente significativa ($R=0.9838$, $P=0.00032$) entre el

primer componente y en índice de intensidad de manejo (Figura 4).

Los resultados del Análisis de Varianza para las variables de vegetación (Tabla 5) indicaron que existen diferencias significativas dentro de las siete fincas, entre las que se destacan la cobertura de dosel ($P=0.008$), la heterogeneidad vertical ($P=0.001$) y la densidad de cafetos ($P=0.016$).

Tabla 4. Valores promedio del índice de manejo para cada una de las variables medidas y fincas estudiadas

Variables	Playita 2	Clarita	Esperanza	B/aires	Felisa	Estrella	María
	PL1	PL2	PL3	PL4	MN1	MN2	MN3
Cobertura dosel (%)	0.310	0.190	0.130	0.260	0.750	0.760	0.630
Riqueza de árboles (# spp./circulo)	0.719	0.500	0.000	0.750	0.813	0.875	0.938
Densidad árboles (# indiv./ m ²)	0.620	0.740	0.080	0.780	0.940	0.960	0.940
Epifitas (#plantasárbol)	0.619	0.271	0.730	0.900	0.750	0.750	1.000
Altura árboles (m)	0.583	0.326	0.300	0.291	0.382	0.857	0.904
DAP árboles (cm)	0.565	0.495	0.658	0.073	0.630	0.525	1.222
Heterogeneidad vertical (H')	0.366	0.176	0.016	0.180	0.711	0.980	0.898
Densidad de cafetos (#arbustos/78.5m ²)	0.500	0.351	0.714	0.450	0.230	0.140	0.070
Valor del Índice de Manejo	4.282	3.049	2.628	3.684	5.206	5.847	6.602

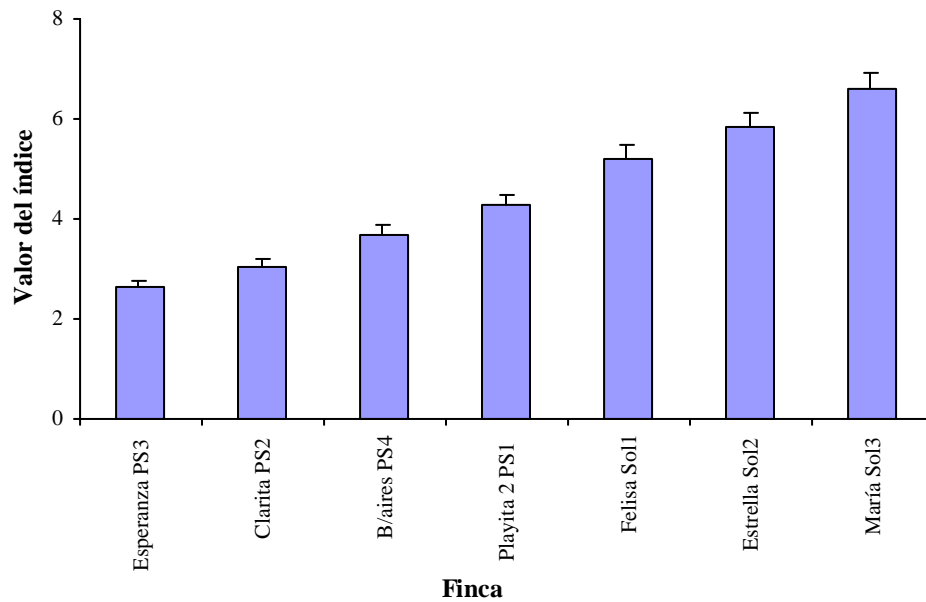


Figura 3. Índice de intensidad de manejo de agroecosistemas de café en siete fincas estudiadas.

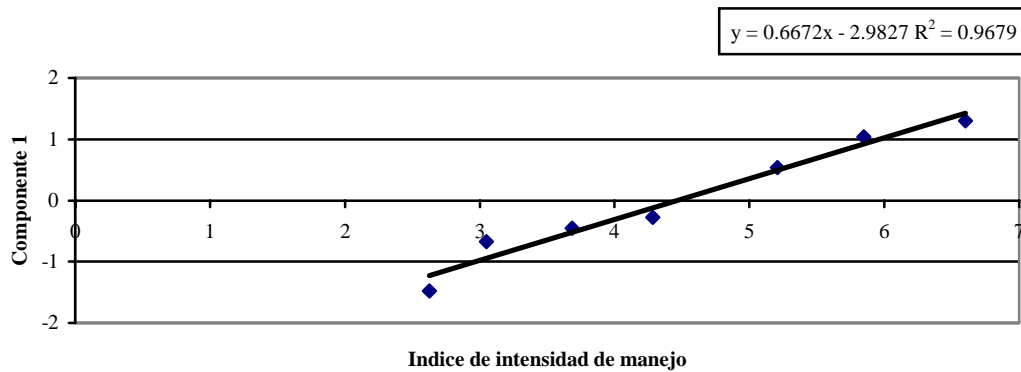


Figura 4. Regresión entre el Índice de Manejo y el Componente 1.

Tabla 5. Resultados del Análisis de Varianza para las variables de vegetación medidas en las fincas.

Variables de vegetación	F calculado	P
Cobertura de dosel (%)	18.207	0.008
Riqueza de árboles (# spp./circulo)	5.579	0.065
Densidad árboles (# indiv./m ²)	4.175	0.096
Epifitas (#plantas/árbol)	1.400	0.290
Altura árboles (m)	6.426	0.052
DAP de árboles (cm)	2.109	0.206
Heterogeneidad vertical (H')	47.462	0.001
Densidad de cafetos (#arbustos/78.5 m ²)	12.901	0.016

Riqueza de especies

A nivel regional se observaron 54 especies de hormigas, de las cuales 48 estaban presentes en las fincas policultivo (fincas con sombra) y 18 en monocultivos o cafetales de sol (Tabla 6). En los policultivos no se encontraron 4 de las especies presentes en monocultivos y en monocultivos no se encontraron 34 especies que sí estaban presentes en policultivos. Las fincas con sombra de árboles presentaron la mayor riqueza de hormigas: La finca La Esperanza con 33 especies, seguido en orden descendente por la Clarita con 23 especies y Playita 2 con 21 especies registradas. Los valores de los estimadores Chao 2, ACE, Jackknife2 y el número de especies observadas para cada una de las fincas fueron siempre mayores en los cafetales con sombra de árboles (Tabla 7).

De las especies encontradas cabe resaltar a *Solenopsis picea* que se encuentra en cafetales de sol y de sombra, pero de acuerdo a las observaciones realizadas en la medida en que disminuye la sombra asociada al cultivo y varían las condiciones microclimáticas disminuye su abundancia. *Paratrechina steinheili*, presenta una distribución similar, a tal punto que en las fincas monocultivo, se encuentra asociada a las barreras de plátano que sirven de límite entre lotes, probablemente debido a que las condiciones microambientales varían por la hojarasca que genera estas plantas. *Tetramorium simillimum* sólo se encuentra en la finca La María, cafetal de monocultivo, su abundancia es alta y suele establecer sus nidos en la base de los cafetos, incluso en la corteza y en los líquenes asociados en el tallo.

Tabla 6. Especies y morfoespecies de hormigas encontradas en cafetales con sombra y sin sombra, Apía, Risaralda.

Especie de Hormiga	Policultivos	Monocultivos
<i>Azteca cm</i>	x	x
<i>Brachymyrmex cf. cordemoyi</i>	x	x
<i>Camponotus cf. indianus</i>	x	
<i>Camponotus cf. novogranadensis</i>	x	x
<i>Camponotus am</i>		x
<i>Cephalotes maculatus</i>	x	
<i>Cephalotes pm</i>	x	
<i>Crematogaster curvispinosa</i>	x	x
<i>Crematogaster (Neocrema) sp. 2</i>	x	x
<i>Crematogaster (Neocrema) sp. 3</i>	x	
<i>Crematogaster co</i>	x	
<i>Dolichoderus bispinosus</i>	x	
<i>Ectatoma tuberculatum</i>		x
<i>Leptothorax (Nesomyrmex) pittieri</i>	x	
<i>Leptothorax np</i>	x	
<i>Leptothorax nm</i>	x	
<i>Leptothorax (Nesomyrmex) tristani</i>	x	
<i>Linepithema ca</i>	x	
<i>Linepithema mo</i>	x	x
<i>Myrmelachista az</i>	x	x
<i>Paratrechina steinheili</i>	x	x
<i>Pheidole radoszkowskii</i>	x	x
<i>Pheidole flavens</i>	x	x
<i>Pheidole biconstricta</i>	x	
<i>Pheidole cocciphaga</i>	x	
<i>Pheidole mirabilis</i>	x	

Tabla 6. Continuación.

<i>Pheidole aar</i>	x	
<i>Pheidole olo</i>	x	x
<i>Pheidole mad</i>		x
<i>Pheidole cp</i>	x	x
<i>Pheidole cab</i>	x	
<i>Pheidole cpa</i>	x	
<i>Pheidole dc</i>	x	
<i>Pheidole es</i>	x	x
<i>Pheidole esn</i>	x	
<i>Pheidole npl</i>	x	
<i>Procryptocerus scabriusculus</i>	x	
<i>Pseudomyrmex rudis</i>	x	
<i>Pseudomyrmex simplex</i>	x	
<i>Pseudomyrmex rochai</i>	x	
<i>Pseudomyrmex oculatus</i>	x	
<i>Pseudomyrmex gracilis</i>	x	
<i>Pseudomyrmex negra</i>	x	
<i>Pseudomyrmex gr. subtilissimus tenuissimus</i>	x	
<i>Pseudomyrmex pallens</i>	x	
<i>Pseudomyrmex boopis</i>	x	
<i>Solenopsis picea</i>	x	x
<i>Solenopsis laeviceps</i>	x	
<i>Solenopsis decipiens</i>	x	
<i>Solenopsis geminata</i>	x	x
<i>Tetramorium simillimum</i>	x	

Tabla 7. Valores observados y estimados de riqueza y diversidad de especies de hormigas en las fincas muestreadas.

Finca	Especies observadas	Especies únicas	Especies duplicadas	Ace	Jack2	Chao2	Diversidad Shannon
La María (MN3)	8	3	0	11.0	14.0	12.5	1.73
Estrella (MN2)	19	8	5	30.0	30.0	25.0	2.55
La Felisa (MN1)	14	6	2	20.0	24.0	21.0	2.26
B./aires (PL4)	18	7	4	27.0	28.0	23.0	2.40
La Clarita (PL2)	23	11	5	37.0	40.0	34.0	2.69
Playita 2 (PL1)	21	9	2	33.0	37.0	37.0	2.64
Esperanza (PL3)	33	11	5	44.0	50.0	44.0	3.05

Diversidad regional 54 69

Total: 48 spp. policultivo, 18 spp. Monocultivo. 80.7% diversidad registrada

Índice de complementariedad 0.82

En la Figura 5, se puede observar la relación que se establece entre las variables cobertura vegetal y heterogeneidad vertical con la riqueza de hormigas estimada por Jack 2. En la relación con la cobertura vegetal se obtuvo un $R^2=0.587$ y con la heterogeneidad $R^2=0.6509$, sugiriendo que al aumentar la cobertura vegetal, la diversidad de estratos medios del hábitat aumenta, repercutiendo en una mayor diversidad de microambientes que permiten el establecimiento de una mayor

diversidad de hormigas. Esta relación va en orden ascendente de las fincas monocultivo a las fincas policultivo.

El porcentaje de cobertura vegetal entre las fincas policultivo y monocultivo muestra una tendencia a disminuir con la intensificación de los cafetales al igual que el estimador de riqueza jackknife (Figura 6).

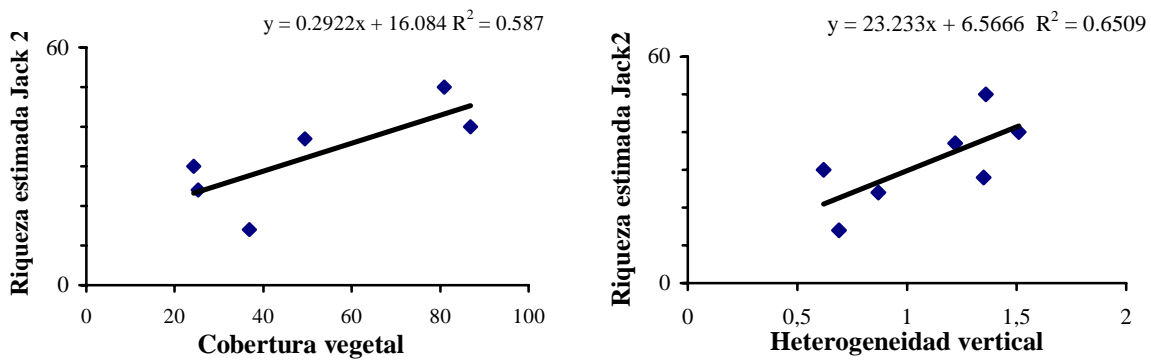


Figura 5. Regresión simple entre las variables cobertura vegetal y heterogeneidad vertical vs. riqueza estimada jackknife2 por finca.

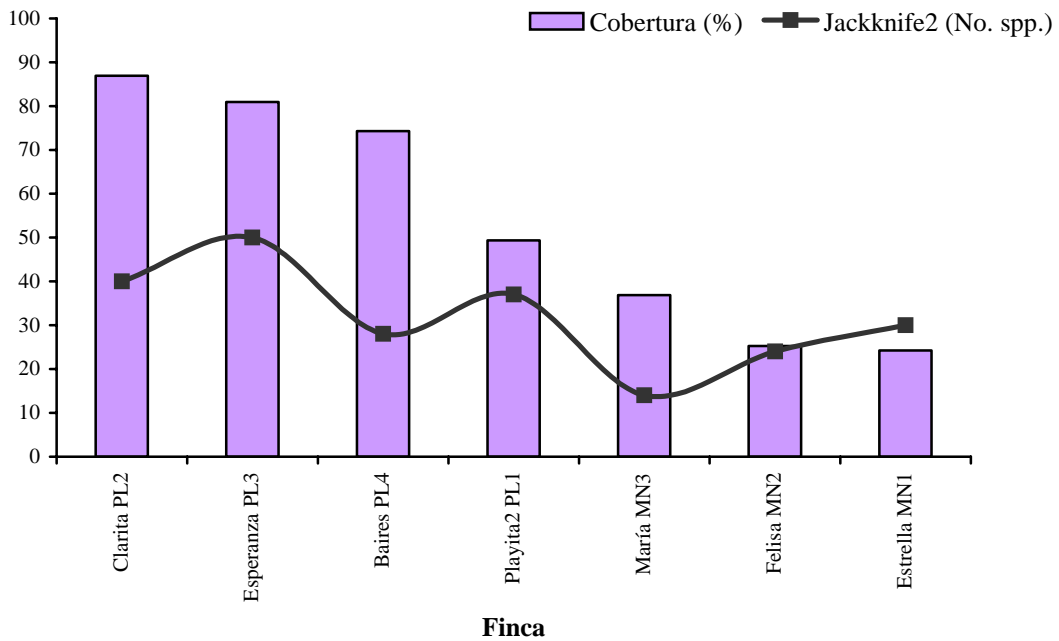


Figura 6. Cobertura vegetal y riqueza estimada de jackknife2 en cada una de las fincas.

Índice de diversidad de Shannon (H')

El índice de diversidad de Shannon presentó los valores más altos en los policultivos comerciales, i.e. La Esperanza (H' = 3.05), La Clarita (H' = 2.69) y Playita 2 (H' = 2.64), indicando una mayor diversidad de especies de hormigas en estos cultivos. El índice indica que en ellos se presenta una mayor igualdad en la distribución de individuos entre las especies y por consiguiente una menor dominancia de algunas especies. Los datos anteriores concuerdan con los mayores

valores obtenidos por los estimadores Chao2, ACE y jackknife2 en las mismas fincas.

Si relacionamos el índice de manejo obtenido con la riqueza estimada (Figura 7), se obtiene una relación inversamente proporcional, es decir, en la medida en que el índice de manejo aumenta la riqueza estimada para esa finca disminuye. Se puede decir que los datos concuerdan con las observaciones iniciales y se presentan como una consecuencia de lo obtenido en los componentes 1 y 2, reflejando la composición y estructura de la vegetación arbórea asociada a las fincas.

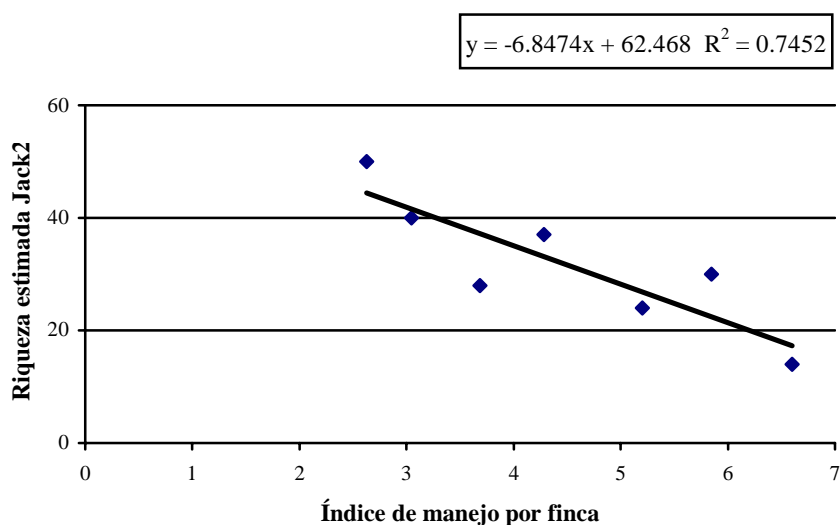


Figura 7. Relación entre el índice de manejo y la riqueza estimada jackknife2 por cada finca.

DISCUSIÓN

Caracterización vegetal de las fincas

De acuerdo con los resultados obtenidos en las variables habitacionales medidas en las fincas, se puede sugerir que la cobertura vegetal, la heterogeneidad vertical y la riqueza de especies arbóreas son directamente proporcional al manejo del cultivo, es decir, aumentan en un policultivo y disminuyen si es un monocultivo. Incluso, la variable densidad de cafetos por tipo de cultivo es inversamente proporcional, lo cual significa que la mayor densidad de siembra del cultivo se presenta en el monocultivo y la menor en el policultivo, confirmando los efectos de la intensificación del cultivo, es decir genera, agroecosistemas simplificados, menos diversos e inestables pues las distancias de siembra en los policultivos son menores que en los monocultivos, es decir, a mayor densidad de siembra de arbustos de café

menos posibilidad de árboles de sombra asociados al cultivo (Figura 1). Resultados similares se reportan en estudios realizados por Mas & Dietsch (2003) y Ambrecht & Perfecto (2003) donde por ejemplo la cobertura de dosel en sistemas de policultivo está entre 73.3 y 78.9% y en sistemas de monocultivo entre 36.16 y 35%.

La agrupación de las variables medidas dentro de cada componente, permite caracterizar el hábitat de cada una de las fincas estudiadas. Se tendría entonces que el componente 1, al definir la composición vegetal de cada una de las fincas, ofrece información sobre la vegetación que se encuentra asociada al cultivo y así mismo determina la densidad de siembra de los cafetos.

Las variables asociadas al componente 2, determinan el grado de madurez vegetal de los árboles asociados a cada una de los sistemas de

cultivo, lo que implica que, dependiendo de la altura y del diámetro de los árboles, se puede sugerir que tan madura es la sombra asociada al cultivo.

A nivel práctico estos resultados implican que los policultivos semejan más los ecosistemas naturales propios de la zona por contener un componente arbóreo y una estructura vegetal más compleja. Se asume que esta complejidad vertical conduce a una complejidad de la fauna asociada (Swift et al. 1996, Perfecto et al. 1997).

Índice de manejo

Las fincas clasificadas como policultivo comercial presentan valores del índice de manejo entre 2.6 y 4.2 (Tabla 4) que indican que estas tienen una menor intensidad de manejo del cultivo y semejan un ambiente natural que permite el establecimiento de mayor diversidad de artrópodos. Las fincas clasificadas como monocultivo sin sombra presentan valores entre los 5.2 y 6.6. Estos valores están más cercanos a 8.0, lo que sugiere que presentan un mayor grado de intensificación del cultivo, una reducción ostensible de la sombra asociada al cultivo y un mayor uso de insumos agrícolas contaminantes, que conllevan a una menor diversidad asociada.

Las variables habitacionales medidas permiten evaluar los efectos que la intensificación de la producción de café trae consigo, estos efectos también se han cuantificado en estudios realizados por Moguel & Toledo (1999); Dietsch (2003); Armbrrecht & Perfecto (2003).

El índice de Mas & Dietsch (2003), es una buena herramienta que podría permitir la caracterización del grado de intensificación de diferentes sistemas de cultivo e incluso ayudar a determinar procesos de agricultura orgánica, ya que se observó una relación estrecha entre los valores de este índice y la mayor intensificación de los cafetales.

Riqueza de especies

La estimación de la diversidad esperada para esta región con el estimador Chao 2 (Tabla 6), predice que, aproximadamente, quince especies adicionales deberían haber sido encontradas en el estudio. De lo anterior se deduce que según este estimador, el 80.7% de la diversidad esperada para la región fue registrada en el muestreo. Otros estimadores como el ICE y el Jack 2 presentan un comportamiento similar donde se predice que aproximadamente 18 y 16 especies adicionales deberían haber sido encontradas. El índice de

complementariedad obtenido es de 0.82; lo cual permite confirmar lo diferentes que son los policultivos comerciales de los monocultivos sin sombra en cuanto a la riqueza de hormigas que albergan.

Rivera & Armbrrecht (2005), encontraron que los cafetales orgánicos de sombra poligenérica contenían mayor riqueza de especies de hormigas que los cafetales de monocultivo, así mismo concluyen que un manejo agrícola ambientalmente amigable, como el cafetal orgánico de sombra diversa, se constituye en una matriz favorable para la biodiversidad de hormigas propias de parches de bosque en el paisaje rural cafetero.

La cobertura vegetal suministra información de estratos medios y superiores del hábitat. Mientras en los policultivos comerciales el porcentaje de cobertura fluctúa entre 50 y 86.9%, en los monocultivos sin sombra no sobrepasa es 36.9%. Esta cobertura tiene directa incidencia en el comportamiento de factores abióticos como temperatura en la superficie del suelo, que se mantiene mas baja durante las horas del día dentro del cafetal (Rivera & Armbrrecht 2005) y que afecta directamente el establecimiento de diferentes poblaciones de hormigas y artrópodos.

Se encontró una alta relación entre la diversidad y estructura arbórea de la vegetación con la diversidad de hormigas, en la clasificación dada para los sistemas de manejo del cultivo de café establecidos en este estudio. La intensificación de la producción de café tiene claros efectos medibles en las características del hábitat, y el índice de manejo establecido por Mas & Dietsch reflejan el gradiente de intensificación en las plantaciones estudiadas.

CONCLUSIONES

La composición y estructura de las fincas policultivo comercial y monocultivo sin sombra, reflejan la diversidad asociada de hormigas que pueden llegar a ser controladoras biológicas claves. En la medida que su composición y estructura es más compleja, la diversidad asociada es mayor.

El índice de manejo establecido por Mas & Dietsch, permite una aproximación real del comportamiento de la diversidad de hormigas que el agroecosistema presenta. Este índice es una

herramienta clave que se podría utilizar en procesos de agricultura orgánica.

El índice de complementariedad encontrado entre las fincas policultivo comercial y monocultivo sin sombra, reafirma que estos dos sistemas de cultivo son diferentes en cuanto a la composición de la fauna de hormigas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Valle, a Orgánica Tatamá a los profesores Inge Armbrrecht, James Montoya y Ranulfo González por los comentarios a este artículo. A Rocío García por su ayuda en el campo. Al Land Institute y a Colciencias (proyecto código 1106-12-11693).

LITERATURA CITADA

- Agosti, D., J.D. Majer, L.E. Alonso, & T.R. Shults. 2000. *Ants: Standard methods for measuring and monitoring biodiversity: Preface*. Smithsonian Institution. Washington. D. C.
- Armbrrecht I. & I. Perfecto. 2003. Litter ants diversity and predation potential in two Mexican coffee matrices and forest fragments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97: 107-115.
- Armbrrecht, I. & I. Perfecto. 2003. Habitat changes in Colombian coffee farms under increasing management intensification. *Endangered Species Update, Special Issue on Agroecology* 20(4-5):163-178.
- Baker, P. 1999. La broca del café en Colombia. Informe final del proyecto MIP para el café DFID – Cenicafé – CABI Bioscience, (CNTR 93/1536A).
- Beattie, A. 1985. *The evolutionary ecology of ant-plant mutualisms*. Cambridge University Press. London.
- Brown, K. Jr. 1989. The conservation of neotropical environments. Insects as indicators. Pp. 354-404. in: *The conservation of Insects and their habitats*. (N. M. Collins & J. A. Thomas, eds.) 15th Symposium of the Royal Entomological Society of London. Academic Press. Harcourt Brace Jovanovich Pbs.
- Buckley, R.C. 1982. Ant-Plant interactions: a world review. Pp. 111-114. en: *Ant-Plant Interactions in Australia*. (R.C. Buckley, ed.) Dr W. Junk, The Hague.
- Carroll C.R 1990 *The interference between Natural Areas and Agroecosystems*. Pp. 365-383. en: *Agroecology*. (C.R. Carroll, J. H. Vandermeer & P. M. Rosset, eds.). Mc Graw – Hill.
- Colwell, R. K. 2001. User's guide to EstimateS. Statistical Estimation of species richness and shared species from samples. Version 6.0b1. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>
- Davidson, D. & D. McKey. 1993. The evolutionary ecology of symbiotic ant-plant relationships. *Journal of Hymenoptera Research* 2: 13-83.
- Delabie, J.H. 1990. The ant problems of cocoa farms in Brazil. Pp. 555-569. en. *Applied Myrmecology: A world perspective*. (R.K. vander Meer, K. Jaffé, A. Cedeno, eds.). Westview press, Boulder. Colorado.
- Departamento Nacional de Planeación. 1996. Política de bosques. Documento CONPES # 2834. Minambiente. DNP, UPA.
- Dietsch, T.V. 2003. Conservation and ecology of birds in coffee agroecosystems of Chiapas, Mexico. Dissertation. University of Michigan, Natural Resources and Environment. Ann Arbor, Michigan.
- Espinal, L.S. 1967. *Apuntes sobre Ecología Colombiana*. Universidad del Valle. Cali. Colombia.
- Fernández, F., E. Palacio, W. Mackay & E. Mackay. 1996. Introducción al estudio de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Colombia. Pp. 351-416. en: *Insectos de Colombia, estudios escogidos*. (M.G. Andrade, C.G. Amat & F. Fernández, eds.). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Alvarez Lleras No. 10. Coedición con el Centro Editorial Javeriano. Santa Fé de Bogotá. Colombia.
- Holldobler, B. & E.O. Wilson. 1990. *The Ants*. Harvard University Press. USA.
- Jaffe, K., J. Latke & E. Perez, 1993. *el mundo de las hormigas*. Equinoccio Ediciones. Universidad Simón Bolívar. Venezuela.
- Longino, J. 1994. How to measure arthropod diversity in a tropical rainforest. *Biology International* 28, 3-13.
- Majer, J. 1983. Ants: bio-indicators of mine-site rehabilitation, land use and land conservation. *Environmental Managements* 7(4): 375-383.
- Mas, A. & T. Dietsch. 2003. An index of management intensity for coffee agroecosystems to evaluate butterfly species richness. *Ecological Applications* 13(5): 1491-1501.
- McNeely, J.A. & S.J. Scherr. 2003. *Ecoagriculture: Strategies to Feed the World and Save Wild Biodiversity*. Island Press. Washington DC.

- Mills, G.S., J.B. Dunning & J.M. Bates. 1991. The relationship between breeding bird and vegetation volume. *Wilson Bulletin* 103: 468-479.
- Moguel, P. & V.M. Toledo. 1999. Biodiversity conservations in traditional coffee system of Mexico. *Conservation Biology* 13:11-21.
- Perfecto, I. & J. Vandermeer. 1994. Understanding biodiversity loss in agroecosystems: Reduction of ant diversity resulting from transformation of the coffee ecosystems in Costa Rica. *Entomology Trends in Agricultural Science* 2:7-13.
- Perfecto, I., J. Vandermeer, P. Hanson & V. Cartin. 1997. Arthropod diversity loss and the transformation of a tropical agroecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6: 935-945.
- Pimentel, D., U. Stashow, D.A. Takacs, H.W. Brubaker, A.R. Dumas, J.J. Meaney, J.A.S. O'Neil, D.E. Onsi, & D.B. Corzilius. 1992. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. *BioScience* 42 (5): 354-362.
- Rivera, L. & I. Armbrrecht. 2005. Diversidad de tres gremios de hormigas en cafetales de sombra, de sol y bosques de Risaralda. *Revista Colombiana de Entomología* 31(1): 89-96..
- SPSS 11 para Windows 1998. Copyright © 2004, SPSS Inc. All rights reserved. SPSS Inc.
- Swift, M., J. Vandermeer, P.S. Ramakrishnan, C. Anderson, K. Ong & B.A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. Pp. 261-298. in: *Functional Roles of Biodiversity: a global perspective*. (H.A. Mooney, J.H. Cushman, E. Medina, O.E. Sala & E.D. Schulze, eds.). Functional roles of biodiversity: a global perspective. John Wiley and Sons. New York.
- Western, D. & M.C. Pearl. 1989. *Conservation for the twenty-first century*. Oxford University Press. N. Y. USA.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. New Jersey, U.S.A. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey. U.S.A.