

**FACTORES QUE AFECTAN LA ABUNDANCIA DE INSECTOS
POLINIZADORES DEL CACAO EN SISTEMAS AGROFORESTALES**
**FACTORS AFFECTING THE ABUNDANCE OF COCOA-POLLINATING
MIDGES IN AGROFORESTRY SYSTEMS**

Julio Cesar Bravo M.¹, Eduardo Somarriba², German Arteaga³

Fecha de recepción: 17 de junio de 2010

Fecha de aceptación: 23 de noviembre de 2010

RESUMEN

Esta investigación se realizó en 36 fincas del Proyecto Cacao Centroamérica y 3 bosques en 4 comunidades de Talamánca (Costa Rica), en sistemas agroforestales de cacao. Se buscó determinar la abundancia de polinizadores y encontrar factores de vegetación, paisaje y enemigos naturales que afectan dichas poblaciones. Se tomaron muestras de hojarasca y se llevaron a trampas de emergencia, se criaron y capturaron estados inmaduros de dípteros en una solución de sacarosa al 20%. Se recolectaron en alcohol al 70% y se llevaron a laboratorio para determinar su abundancia. Finalmente se identificaron los dípteros de los géneros *Atrichopogon*, *Dasihelea* y *Forcipomyia* (Ceratopogonidae). Se encontró que el porcentaje de polinizadores fue mayor en las comunidades (7.8%) que en bosques (5.6%) al compararlos con el total de dípteros. Se encontró relaciones positivas entre los polinizadores y porcentaje de humedad de hojarasca, peso seco del cacao, *Musa* sp, *Erithryna* sp y especie No. 3 sin identificar, abundancia de árboles *Eugenia stipitata* y *Bactris gasipaes*. Relaciones negativas se encontraron con la abundancia de *Inga* sp, *Rollinia mucosa*, *Coffea arabica*, *Iriarteia deltoidea* y *Persea americana*, pendiente del terreno y la altitud. El análisis de componentes principales permitió explicar 54.2% de la variabilidad presente a través de seis factores. La abundancia de polinizadores fue clave en los factores 1 y 4 presentando alta incidencia en el 21.7% de la

1 Egresado de Ingeniería Agronómica, Universidad de Nariño, Pasto Colombia. Email: julius0076@hotmail.com.

2 Ph.D. Coordinador Proyecto Cacao Centroamérica. CATIE, Costa Rica. Email: esomarri@catie.ac.cr.

3 MSc. Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. Email: gespino@udenar.edu.co

variabilidad. Se formaron grupos de fincas y se encontró que el grupo 3 formado por fincas de Amubri presentó las mejores condiciones para polinizadores y dípteros.

Palabras clave: Polinización, Ceratopogonidae, hojarasca, vegetación, paisaje.

ABSTRACT

This research was carried out in 36 farms of Central American Cocoa Project located in cocoa agroforestry systems in Talamánca (Costa Rica). The purpose was to determine the abundance of cocoa pollinators and to find the associated factors with vegetation, landscape and natural enemies affecting those populations. Samples of litter in the cacao crops were put in boxes traps; immature stages of flies were grown and carry into solution of sucrose 20%. Insects collected in alcohol 70% were taken to laboratory where the abundance was determined; were identified the flies of the genera *Atrichopogon*, *Dasihelea* and *Forcipomyia* (Ceratopogonidae). Higher averages of the percentage of pollinators in opposition to the diptera for communities (7.8%) than for forests (5.6%). It was found direct positive relationships and influences between pollinators and the moisture content of litter, dry weight of cocoa, *Musa* sp, *Erithryna* sp and the 3 unidentified specie, trees abundance of *Eugenia stipitata* and *Bactris gasipaes*. Negative relationships were found with abundance of *Inga* sp, *Rollinia mucosa*, *Coffea arabiga*, *Iriartea deltoidea* and *Persea Americana*, slope of the terrain and the altitude. The principal component analysis allowed to obtain six major components wich explain 54.2% of the variability. The abundance of pollinators was highly correlated with the components 1 and 4 showing a high incidence in 21.7% of the variability. It was formed groups of plots and was found that the third group (consists of Amubri's plots) presented the best conditions for pollinators, because it had higher averages for these variables.

Key words: pollinating, Ceratopogonidae, litter, vegetation, landscape.

INTRODUCCIÓN

La polinización es un servicio ecosistémico que consiste en la transferencia de polen desde la antera, hacia el estigma, de una o de diferentes flores. La polinización es vital para la producción de alimentos y los medios de vida de los seres humanos. La mayoría de especies de plantas fanerógamas sólo producen semillas si los polinizadores han transportado polen de las anteras a los estigmas de las flores (FAO, 2008).

La polinización por animales representa un servicio crítico para los ecosistemas, desde el

punto de vista biológico y económico (Kearns *et al.*, 1998). Cerca del 90% de las 300.000 especies de angiospermas son polinizadas por animales siendo insectos el 90% de los polinizadores (Chacoff, 2006). Cultivos tropicales como el cacao, dependen en gran medida de los polinizadores (90% de las cosechas de cacao) (FAO, 2008).

El cacao crece en zonas tropicales, donde ha sido cultivado en su mayor parte por comunidades nativas, para quienes representa importancia económica y cultural (Dubois, 2007). El método de cultivo ha sido con sistemas agroforestales, en los que integran una gama

de árboles de los que se obtienen diferentes productos. Esto favorece al cacao por ser una especie umbrófila que se cultiva bajo la sombra de árboles más grandes (CONABIO, 2008). Estas prácticas han implicado beneficios como la conservación de la biodiversidad (dentro de ella los insectos polinizadores) para las comunidades y el medio natural.

En el cacao, la polinización es llevada a cabo casi exclusivamente por dípteros Ceratopogonidae (Géneros *Forcipomyia*, *Daisyhelea*, *Atrichopogon*). Ciertas especies del género *Forcipomyia* están altamente especializadas para polinizar las flores del cacao debido a las características específicas de la estructura morfológica del insecto (Soria, 1973; Kaufmann, 1975b; Soria *et al.*, 1980; Brew, 1984), y a la complejidad estructural de la flor, que parece diseñada para que estos insectos la polinicen (Goitia *et al.*, 1992).

La polinización tiene lugar cuando la mosquita camina y prueba la superficie interior de los estaminodios, eventualmente entra a los pétalos, allí el polen se adhiere a su dorso. Finalmente, al entrar a otra flor el espacio entre el estigma y los estaminodios permite el paso del insecto, mas no de su carga de polen, que queda sobre el estigma (Soria y Wirth, 1974; Kaufmann, 1975a).

El conocimiento sobre las poblaciones de insectos, es básico para el desarrollo de programas de manejo adecuado de insectos útiles y dañinos (Soria, 1979), por ello las investigaciones sobre la taxonomía y ecología de los polinizadores permiten avanzar en el conocimiento del funcionamiento de los agroecosistemas asociados a los bosques tropicales y disponer de bases para su manejo apropiado (Narvaez y Marin, 1996).

El presente estudio identificó los factores que afectan la abundancia de polinizadores del cacao (enemigos naturales, composición de la hojarasca, vegetación y paisaje). Se hizo una descripción de su comportamiento buscando diferencias entre las comunidades y altitudes de los sistemas agroforestales de cacao que conforman la red de fincas del Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) en Talamánca (Costa Rica).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las comunidades de Uatsi, Amubri, Soki y Namu Wokir, en el Cantón de Talamánca (Costa Rica). La precipitación promedio osciló en un rango de 2.000 a 5.000 mm anuales, con una estación lluviosa entre mayo y diciembre, con 75% del total de la precipitación anual, y otra estación menos lluviosa entre enero y abril. La temperatura media anual es de 25,6 °C, con máximas de 30°C y mínimas de 20,4 °C y la humedad relativa entre 70 y 90% (Suatunce, 2004 citado por Mavisoy y Cabezas, 2009).

Selección del área de estudio. El estudio se llevó a cabo en 3 sistemas naturales (Bosques) y en la red de 36 fincas de cacao bajo manejo agroforestal establecida para los estudios de enfermedades, productividad y biodiversidad en el trabajo realizado por Avelino y Deheuvels (2008) para caracterizar diferentes dominios agroecológicos en dichas zonas.

Se midió un cuadro de muestreo cerca del centro del cacaotal para evitar efectos de borde y se georeferenció. Por este centro, se trazó una recta de 50 m. El cuadro de muestreo (50x20m = 1000m²) se dividió en 10 subparcelas o celdas de 10x10m (Avelino y Deheuvels, 2008).

Descripción de puntos de muestreo y recolección de sustratos. Dentro de cada finca se tomaron 2 muestras de hojarasca del suelo, cada una formada por 5 submuestras (marcos de 25 x 25 cm²). Cada muestra fue llevada a una trampa de emergencia.

Variables de estudio. (Tabla 1) La abundancia de polinizadores se obtuvo mediante conteo de insectos capturados en cajas de emergencia con los sustratos recolectados (cajas de plástico de 33x20x12 cm con una abertura de 12 cm de diámetro en la tapa, cubierta con tela negra de agujero fino que impedía la entrada de luz y permitía el paso de humedad y aire), estas llevaban un tubo plástico de 10cm de largo por 2cm de diámetro en el cual se adicionaba 4 ml de solución de sacarosa al 20% para la atracción y captura de insectos (Fig. 1). Se capturó durante 30 días, cada trampa se revisó diariamente, los insectos capturados se preservaron con alcohol al 70% y se determinaron siguiendo la clave taxonómica de insectos Ceratopogonidae desarrollada por Borkent (2008).

El peso húmedo de la hojarasca se obtuvo pesando en la balanza electrónica la hojarasca de

cada muestra en campo, el peso seco al pesar las muestras después de secarlas (65°C/48 horas). Mientras que el porcentaje de humedad de hojarasca se obtuvo llevando a porcentaje la diferencia entre peso húmedo y seco. La composición botánica de la hojarasca se estableció mediante la selección y diferenciación de la hojarasca de cada muestra, las cuales se pesaron en balanza electrónica y se identificaron con la ayuda de un especialista.

Las variables de abundancia de enemigos naturales, abundancia de especies del dosel, porcentaje de cobertura del suelo, pendiente del terreno y altitud se obtuvieron de los estudios realizados por Rousseau (2010) y Avelino y Deheuvels (2008).

Análisis estadístico. Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para explicar la variabilidad presente y determinar como están relacionadas las variables entre sí. Mediante este análisis se consiguió la formación de conglomerados de fincas observados a través de los componentes principales los cuales fueron caracterizados en función de las variables medidas. Finalmente se realizaron regresiones múltiples

Figura 1. Trampas de emergencia de ceratopogónidos



Foto: Mavisoy y Cabezas, 2009

Tabla 1. Clasificación y convenciones de las variables utilizadas en el estudio

GRUPO DE VARIABLES	NOMBRE DE LA VARIABLE	CONVENCION PARA LA VARIABLE
POBLACIONES DE INSECTOS	Abundancia de <i>Atrichopogon sp</i> , <i>Dasyhelea sp</i> , <i>Forcipomyia sp</i> , total de Polinizadores, Otros Dípteros, total de Dípteros, total de Artrópodos	Abundancia de <i>Atrichopogon sp</i> . Abundancia de <i>Dasyhelea sp</i> . Abundancia de <i>Forcipomyia sp</i> . Abundancia del total de Polinizadores Abundancia de Otros Dípteros Abundancia del total de Dípteros Abundancia del total de Artrópodos
	Porcentajes de la abundancia de los grupos de dípteros en relación al Total de dípteros	Porcentaje de (<i>Atrichopogon sp</i> , <i>Dasyhelea sp</i> , <i>Forcipomyia sp</i> , total de Polinizadores, Otros Dípteros) frente al total de dípteros
	Porcentajes de la abundancia de dípteros en relación al total de artrópodos.	Porcentaje de (total de Polinizadores, Otros Dípteros, total de Dípteros) frente al total de artrópodos.
HOJARASCA	Peso húmedo de la hojarasca	Peso húmedo de la hojarasca
	Peso seco de la hojarasca	Peso seco de la hojarasca
	Porcentaje de Humedad de la hojarasca	Porcentaje de Humedad de la hojarasca
	Composición botánica de la hojarasca.	Peso seco (Nombre del genero o especie) *
POBLACIÓN DE ENEMIGOS NATURALES	Abundancia: - hormigas, quilópodos, dermápteros.	Abundancia de hormigas Abundancia de Quilópodos Abundancia de dermápteros
VEGETACIÓN DEL DOSEL ALTO	abundancia de especies del dosel	Abundancia de (Nombre de la especie)
VEGETACIÓN DEL DOSEL BAJO	Cobertura del piso: % de cobertura de Helechos y Musgos, Hojarasca, Suelo Desnudo, Gramíneas y herbáceas, Troncos, piedras y raíces, Leñosas	Porcentaje de (musgos y helechos, hojarasca, Suelo desnudo, gramíneas y herbáceas, otros materiales, leñosas) en el suelo.
PAISAJE	Pendiente del terreno	Pendiente
	Altura sobre el nivel del mar	Altitud
	Ubicación Geográfica	Comunidad **

* Las especies no identificadas se denotaron "Peso seco de la especie + (número de 1 a 6)"; la fracción de la hojarasca demasiado descompuesta imposible de distinguir se denotó "Peso seco de otras especies"; palos, ramas y troncos se denotaron "Peso seco de madera".

** Las fincas o fincas se denotan con la abreviatura de la comunidad (Amubri = Am, Soki = So, Namu Wokir = Na, Uatsi = Ua y Bosques= Bo).

ajustadas por el modelo stepwise para encontrar relaciones de dependencia entre los polinizadores y las variables independientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Abundancia de tres géneros de polinizadores (*Atrichopogon*, *Dasihelea* y *Forcipomyia*). Se capturaron individuos de *Atrichopogon* sp en 2 fincas de Soki, individuos de *Dasyhelea* sp en 8 fincas de 3 comunidades (Amubri, Uatsi y Soki), mientras que en 19 fincas de todas las comunidades y un bosque de Uatsi se encontraron individuos de *Forcipomyia* sp. El porcentaje de *Atrichopogon* sp fue 0.23%, *Dasyhelea* sp 2.2% y *Forcipomyia* sp 5.4% sumando un total de 7.8% comparados con el total de dípteros. El porcentaje de otros dípteros (no polinizadores) fue 92.2%, constituyendo un total de 100% de los dípteros capturados en este estudio.

Para los Bosques el porcentaje de *Atrichopogon* sp y *Dasihelea* sp fue 0%, y el de *Forcipomyia* sp 5.6%, mientras que el porcentaje de otros dípteros fue 94.4%. No se capturaron polinizadores en 14 fincas y dos bosques. Soria *et al.*, (1980) encontraron valores muy superiores, al reportar que el 20% de dípteros eran polinizadores verdaderos. Sin embargo, el 7.8% de polinizadores que se reporta en el presente estudio involucra la totalidad de los dípteros capturados en trampas de emergencia a partir de sustratos de hojarasca y no solo aquellos que se acercaron a las flores del cacao.

Para la abundancia del total de polinizadores en relación al total de artrópodos, se encontró que el porcentaje de polinizadores del cacao fue 0.92%, los máximos se encontraron en las fincas Am5, Am4 y So13 con porcentajes entre 3 y 5% y el

mínimo se encontró en 16 fincas (2 de Amubri, 2 de Soki, 2 de Uatsi, 8 de Namu Wokir y 2 bosques) donde no se registró polinizadores con el 0%.

Lo encontrado refleja un valor mayor a lo que Soria *et al.*, (1981) reportaron en Costa Rica donde 0,31% de los artrópodos colectados en sustratos orgánicos de cacaotales fueron ceratopogónidos, aunque también un valor menor al reportado en Ghana, por Brew (1984) quien encontró que los Ceratopogónidos constituyeron 7% del total de los insectos colectados. Sin embargo, debe considerarse que el 0.92% reportado en el presente estudio corresponde solo a tres géneros específicos de la familia Ceratopogonidae, mientras el estudio de Brew (1984) hace referencia a la totalidad de insectos de esta familia, la cual está compuesta por más de 30 géneros y presumiblemente más de 15000 especies (Borkent, 2008).

Los dípteros fueron el segundo grupo más importante después de las hormigas en relación al total de artrópodos capturados en las trampas de emergencia: el porcentaje del total de dípteros (suma de polinizadores y otros dípteros) fue 13.4%, con un máximo de 65.4% y un mínimo de 0.5%. Las hormigas fueron el grupo dominante con un 77.6%. Coleopteros, Ortopteros, Colembolos y Aracnidos sumaron un 9%.

Estructura de la variabilidad. El análisis de Componentes Principales (ACP) permitió observar que seis Componentes Principales (CP) explican el 54.2% de la variabilidad total presente. Dichos componentes estuvieron formados por variables de todos los grupos al presentar correlaciones altas con 11 variables del grupo composición de la hojarasca, 8 de vegetación, 3 de abundancia de insectos y 2 de paisaje (Tabla 2).

Tabla 2. Autovalores determinados en el Análisis de Componentes Principales

Lambda	Valor	Proporción	Proporción acumulada
1	6.1	0.136	0.14
2	4.61	0.103	0.24
3	4.20	0.093	0.33
4	3.64	0.081	0.41
5	3.00	0.066	0.48
6	2.84	0.063	0.54

Para la abundancia de polinizadores se encontró: a) correlaciones altas con el CP 1 ($r=-0.55$) y CP 4 ($r = 0.56$) que explican juntos el 21.7% de la variabilidad; b) correlaciones medias con el CP 2 ($r = 0.30$) y CP 5 ($r = 0.20$) los cuales explican el 16.9% de la variabilidad; y c) correlaciones muy bajas con los componentes 3 y 6 ($r \leq 0.09$) que explican el 15.6% de la variabilidad.

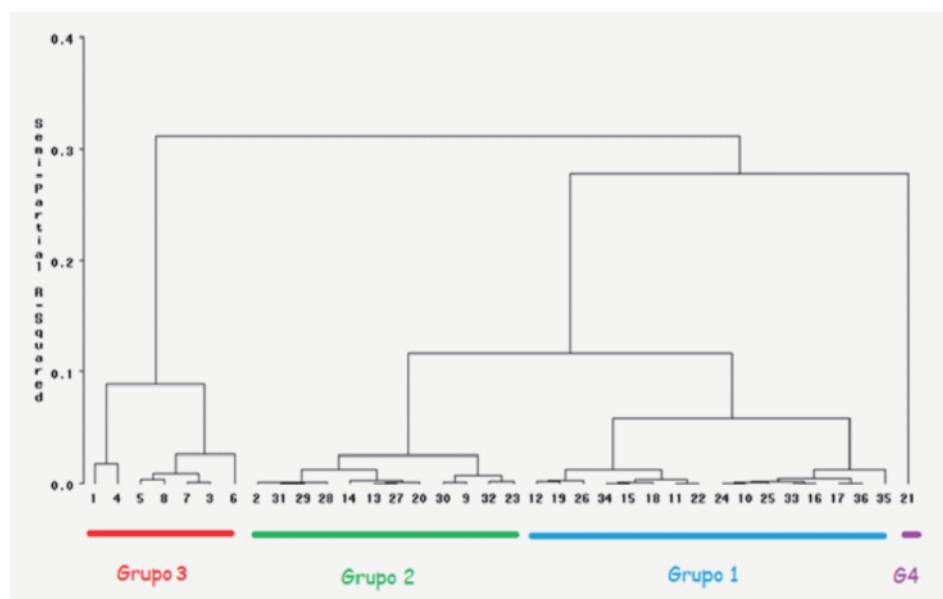
El total de las 8 variables que presentaron correlaciones con la abundancia de polinizadores

en el ACP se encontraron formando parte de los seis componentes principales, particularmente en el componente 1 y 4 con los cuales la abundancia de polinizadores presentó altas correlaciones también.

Se consiguió la formación de 4 grandes conglomerados o grupos de fincas (Fig. 2) observados a través de los componentes principales, con un $r^2=0.71$, con lo cual se conserva la capacidad de explicar el 70% de la variabilidad presente.

El Grupo 3 (G3) estuvo formado por 7 fincas ubicadas entre 62 y 91 msnm, todas de la comunidad de Amubri, representando el 19.4% del total de fincas. Este grupo presentó las condiciones más favorables y apropiadas para la abundancia de los insectos polinizadores del cacao y de los dípteros en general, al presentar promedios muy superiores al general y al de los demás grupos para el porcentaje de polinizadores frente al total de dípteros y de artrópodos (19.1% y 2.2% respectivamente). También se encontraron promedios

Figura 2. Dendrograma del análisis de conglomerados



mayores para la abundancia de hormigas (382.3 individuos), el peso seco de *Erithryna* sp (4.8 g), *Musa* sp (11.9 g), especie 3 (6.1 g) y especie 6 (1.3 g). Promedios menores se encontraron para la abundancia de *Rollinia mucosa* (0.0 árboles), el porcentaje de suelo desnudo (3.5%), la altitud (84.3 msnm) y la pendiente (0.0 grados).

El Grupo 2 (G2) fue el segundo grupo con mejores condiciones para los polinizadores por presentar un promedio mayor al general y el segundo mayor entre los grupos para el porcentaje de polinizadores frente al total de dípteros (11.2%). Para las demás variables relacionadas con la abundancia de polinizadores se encontró promedios mayores para el peso seco de cacao en la hojarasca (41.7 g) y la abundancia de *Eugenia stipitata* (0.6 árboles). Promedios menores se encontraron para la abundancia de quilópodos (17.5 individuos) e *Inga* sp (0.9 árboles). Este grupo estuvo formado por 12 fincas de las 4 comunidades comprendidas entre 62 y 384 msnm, representó el 33.3% del total de fincas.

El Grupo 1 (G1) presentó condiciones poco apropiadas para las poblaciones de polinizadores al observarse el segundo promedio más bajo para los polinizadores (3.2% y 0.3% frente al total de dípteros y artrópodos respectivamente) y promedios menores al general para el peso seco del cacao (24.6 g) y de la especie 3 (0.0 g) en la hojarasca. Un promedio mayor se encontró para la abundancia de *Rollinia mucosa* (1.1 árboles).

El Grupo 4 (G4) presentó las condiciones más desfavorables para los polinizadores del cacao al presentar los más bajos promedios para estas variables (0.0%). También se encontró promedios menores para la abundancia de hormigas (79 individuos), el peso seco de *Erithryna* sp (0.0 g), *Musa* sp (0.0 g), especie 3 (0.0 g) y especie

6 (0.0 g) y la abundancia de *Bactris gasipaes* (0.0 g). Promedios mayores se encontraron para la abundancia de quilópodos (30 individuos), *Inga* sp (9 árboles), el porcentaje de suelo desnudo (27.3%), la pendiente del terreno (35 grados) y la altitud (399 msnm). Este grupo estuvo conformado por la finca Namu Wokir 21, la cual se encontraba a la mayor altitud entre el grupo de 36 fincas a 399 msnm.

Relaciones entre la hojarasca y los insectos polinizadores. Para las regresiones múltiples de *Dasyhelea* sp ($r^2=0.77$, $p<0.0001$) y *Forcipomyia* sp ($r^2=0.77$, $p<0.0001$), se encontró que el porcentaje de humedad de la hojarasca afecta estas variables de manera directa ($p=0.0003$ y $p=0.0708$ respectivamente), lo que coincide con Borkent (2008) quien indica que las larvas de *Dasyhelea* sp son acuáticas y semiacuáticas y viven en material vegetal muy húmedo. También Soria (1979) y Kauffman (1975b) indican como requerimiento altos contenidos de humedad para los ceratopogónidos en general.

La presencia de los polinizadores en la regresión múltiple ($r^2=0.63$, $p<0.0003$) fue afectada por el peso seco de *Musa* sp ($p=0.0735$), el cual también estuvo relacionado con la abundancia de los polinizadores en los grupos (promedios para los grupos G3=11.9, G2=7.6, G1=1.0 y G4=0.0). Esto concuerda con Young (1979, 1983) y Soria *et al.*, (1981) quienes indican que las musáceas son los sitios ideales para el desarrollo de Ceratopogónidos por su alta capacidad de retención de humedad.

El peso seco de *Erithryna* sp se encontró relacionado con la abundancia de polinizadores en el ACP ($r=0.41$) y los conglomerados (promedios de los grupos de G3=4.8, G2=0.9, G1=0.2, G4=0.0).

La forma como el cacao afecta la presencia de los polinizadores parece una contradicción. En las regresiones múltiples, la presencia de *Forcipomyia* sp se encontró afectada negativamente por la abundancia de árboles de cacao ($p < 0.0001$) pero no por el peso seco de cacao en la hojarasca ($p = 0.0009$) que afectó a *Forcipomyia* sp y el total de polinizadores positivamente. Por tanto, se podría decir que las variables idóneas para entender el comportamiento de las poblaciones de las mosquitas están relacionadas con la hojarasca y no con la abundancia de especies del dosel, puesto que las variables de hojarasca presentan una interacción más cercana con los insectos por ser el medio en que se crió. Al respecto Kaufmann (1974) y Young (1979 y 1983) reportan que los polinizadores frecuentemente ovipositan y pueden completar su ciclo en la hojarasca de cacao.

El peso seco de la especie No 3 sin identificar (Tab. 1) se encontró afectando de forma directa la presencia de *Dasyhelea* ($p = 0.0007$) en la regresión múltiple, además de estar relacionado con la abundancia de los mismos en el ACP ($r = 0.71$) y los conglomerados (promedio del $G3 = 6.1$ vs $G4 = 0.0$).

En la regresión múltiple para el porcentaje de humedad de la hojarasca ($r^2 = 0.51$, $p < 0.0001$) se encontró que las variables peso seco de *Cordia alliodora* ($p = 0.0168$) y peso seco de la fracción de hojarasca catalogado como "Otras especies" (Tab. 1) ($p = 0.0001$) la afectaron negativamente. Por lo tanto, estas afectaron de igual forma a la abundancia de polinizadores pues como lo reportaron Soria (1979) y Borkent (2008), los ceratopogónidos depositan sus huevos en lugares con altos contenidos de humedad donde sus larvas se desarrollan.

Sin embargo, para la variable peso seco de la fracción de madera, se encontraron discrepancias al encontrarse influencia negativa sobre los polinizadores en la regresión de humedad de hojarasca ($p = 0.0164$), pero influencia positiva en la regresión de *Dasyhelea* sp ($p = 0.0284$). No se encontraron reportes bibliográficos que indiquen el comportamiento de los polinizadores ante esta variable.

La relación inversa del peso seco de frutos en la hojarasca ($p = 0.0060$) con la presencia de *Forcipomyia* sp en la regresión múltiple contradice lo que se sabe acerca de que los frutos en los sustratos son capaces de almacenar grandes cantidades de humedad y por tanto deberían favorecer la presencia de polinizadores (Bousard, 1980).

Relaciones entre la abundancia de especies del dosel y los insectos polinizadores del cacao.

Para las variables de abundancia de árboles se encontró relaciones directas entre los grupos (promedios de grupos $G2 = 0.6$, $G1 = 0.2$ para *Eugenia stipitata*; y $G3 = 2.0$, $G4 = 0.0$ para *Bactris gasipaes*), lo cual coincide con lo encontrado en la regresión para el total de polinizadores para estas variables ($p = 0.0452$ y $p = 0.0049$ respectivamente).

Relaciones inversas se encontraron para la abundancia de *Inga* sp que afectó de forma inversamente proporcional al total de polinizadores en la regresión múltiple ($p = 0.0259$), coincidiendo con la relación negativa encontrada en los conglomerados ($G4 = 9$, $G1 = 1.6$, $G2 = 1.3$, $G3 = 1$). Igual ocurrió con la abundancia de *Rollinia mucosa* que se relaciono de forma inversa con el total de polinizadores ($p = 0.0046$) y *Forcipomyia*

sp ($p=0.0006$) en las regresiones y estuvo relacionada negativamente en los conglomerados ($G1=1.1$ vs $G2=0.2$).

La regresión múltiple para *Forcipomyia* sp, también mostró que la presencia de este género se encuentra afectada de forma negativa por la abundancia de árboles de *Coffea arabica* ($p=0.0031$), *Iriartea deltoidea* ($p=0.0150$) y *Persea americana* ($p=0.0300$).

Relaciones entre el porcentaje de cobertura del suelo y los insectos polinizadores. En cuanto a los porcentajes de cobertura del suelo, se encontró una relación de dependencia directa de los polinizadores con el porcentaje de gramíneas y herbáceas en la regresión múltiple ($p=0.0001$) y una alta correlación en el ACP ($r=0.30$), lo cual implica una contradicción, pues la presencia de una mayor cantidad de estas plantas, determina ausencia de hojarasca y por lo tanto del sustrato básico en el que crecen los polinizadores (Kauffman, 1974).

El porcentaje de suelo desnudo en la regresión para los polinizadores ($p=0.0008$) se encontró afectando a estos insectos de forma directa, mientras en los conglomerados se observó una clara relación negativa ($G4=27.3$, $G3=3.5$), sin embargo Young (1983) respalda este último hecho cuando indica que los dípteros se encuentran más en la capa de hojarasca, que en el suelo mismo. Además Young (1982) reporta que los jejenes necesitan materia orgánica descompuesta para reproducirse convenientemente, pues en ella depositan los huevos, completando su ciclo vital en el medio creado por tales sustancias.

Relaciones entre el paisaje y los insectos polinizadores del cacao. La pendiente del terreno

estuvo correlacionada de forma negativa con la abundancia de polinizadores según el ACP ($r=-0.25$) y los conglomerados ($G4=35$, $G1=22.3$, $G2=10.7$, $G3=0.0$).

La variable altitud se encontró correlacionada de forma negativa con los polinizadores en el ACP ($r=-0.25$), en los promedios de los grupos ($G4=399$, $G1=269.8$, $G2=166.3$ y $G3=84.3$) y afectando de la misma forma la presencia de *Dasihelea* sp ($p<0.0001$) en la regresión múltiple. Aunque no ocurrió lo mismo con la presencia de *Forcipomyia* sp con la cual se encontró una relación directamente proporcional en la regresión múltiple ($p<0.0140$).

Relaciones entre los enemigos naturales y los insectos polinizadores. En los grupos se observó una relación directa con los polinizadores para la variable abundancia de hormigas ($G3=382.3$, $G2=335.8$, $G1=226$, $G4=79$) que coincide con la alta correlación encontrada en el ACP ($r=0.75$).

Para la abundancia de dermápteros también se observó una alta correlación positiva con los polinizadores en el ACP ($r=0.54$), aunque no ocurrió igual en la regresión múltiple con *Dasihelea* sp ($p=0.0114$).

Para la abundancia de quilópodos se observó una relación inversa en los conglomerados ($G4=30.0$, $G1=24.6$, $G3=19.6$, $G2=17.5$), pero esta no coincide con lo encontrado en la regresión para abundancia del total de polinizadores y abundancia de *Forcipomyia* sp donde los quilópodos afectaron directamente ($p=0.0343$ y $p<0.0001$ respectivamente).

La presencia de relaciones inversas se entiende como consecuencia del antagonismo causado

por los depredadores hacia los polinizadores. Aunque también es posible encontrar relaciones directas que se podrían entender en tanto que la presencia de polinizadores implicaría disponibilidad de alimento que conllevaría una mayor presencia de sus depredadores (Pinzón, 2010). Sin embargo, debe considerarse la alta movilidad de estos depredadores, así como la especificidad, puesto que en este estudio no se hizo distinción de familias para las hormigas ya que no todos los insectos contemplados entre estos ellos pueden considerarse como específicos para Ceratopogónidos. Además, aunque algunos autores como Kauffman (1975) han reportado que los dermápteros y quilópodos en general pueden alimentarse de los ceratopogónidos, para el caso de este estudio estas variables se tomaron del trabajo realizado por Rousseau (2009) en los mismos sitios de muestreo pero algunos meses antes, lo cual genera la probabilidad de que las relaciones encontradas obedezcan a otras causas diferentes a las mencionadas.

CONCLUSIONES

Entre la humedad de la hojarasca y la presencia de *Dasyhelea* sp y *Forcipomyia* sp; el peso seco del cacao, *Forcipomyia* sp y el total de polinizadores; el peso seco de *Musa* sp y la presencia del total de polinizadores; el peso seco de la especie 3 y la presencia de *Dasyhelea* sp; y el peso seco de *Erithryna* sp y la abundancia de polinizadores se presentaron relaciones positivas.

La abundancia de árboles de *Eugenia stipitata* y *Bactris gasipaes* se relacionaron de forma positiva con el total de polinizadores. El caso contrario ocurrió con la abundancia de *Inga* sp y *Rollinia mucosa*, *Coffea arabica*, *Iriarte deltoidea* y *Persea*

americana que afectaron de forma negativa con la presencia de *Forcipomyia* sp y el total de polinizadores.

La pendiente del terreno y la altitud estuvieron correlacionadas negativamente con la abundancia de polinizadores. La altitud además afectó de forma negativa la presencia de *Dasyhelea* sp, aunque no la presencia de *Forcipomyia* sp.

Seis componentes principales permitieron explicar el 54.2% de la variabilidad. Estos se encontraron formados por variables de los diferentes grupos en estudio. Dentro de los componentes la abundancia de polinizadores se correlacionó con los CP 1 y 4.

Se formaron 4 grupos que permitieron conservar el 70% de la variabilidad presente. En el grupo 3 formado por fincas de Amubri, se observó las mejores condiciones para los polinizadores, al presentar promedios superiores para estas variables. El grupo 2 con fincas de todas las comunidades fue el segundo más favorable para los polinizadores.

BIBLIOGRAFÍA

- AVELINO y DEHEUVELS. 2008. Caracterización de diferentes dominios agroecológicos para enfermedades, productividad y biodiversidad, proyecto cacao Centroamérica (PCC), CATIE. Turrialba, Costa Rica. 47 p.
- BORKENT, A. 2008. The Ceratopogonidae of Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad INBio. Costa Rica. 49 p.
- BOUSSARD, B. 1980. Etude Bibliographique, Pollinisation Arbres fruitiers et cacaoyers. Café Cacao Thé, Vol. XXV, No 4, oct-dec. p. 297 – 301.

- BREW, AH. 1984. Studies on cocoa pollination in Ghana. Lagos, NG. p. 567-571. En: 9 th International cocoa research conference.
- CHACOFF, Natacha. 2006. Los ecosistemas naturales como fuente de polinizadores para *Citrus paradisi* en el piedemonte de las yungas. Tesis doctorado, Tucuman. Universidad Nacional del Comahue. 168p.
- CONABIO. 2008. *Theobroma cacao* L. Sterculiaceae (en línea). México, DF. Publicado en: Species Plantarum 2: 782. 1753. Consultado 29 mar. 2009. Disponible en internet http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/árboles/doctos/68-sterc03m.pdf.
- DUBOIS, Anthony. 2007. Producción agrícola y conservación de biodiversidad: ¿dos actividades compatibles?. El caso de los sistemas agroforestales con cacao en Talamánca - Costa Rica. Tesis de Maestría, Turrialba. Universidad de Lyon, Francia. 71p.
- FAO. 2008. Polinización, un servicio del ecosistema. Consultado el 30 de Octubre de 2008. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0112e/i0112e06.pdf>.
- GOITIA, BOSQUE y JAFFE. 1992. Interacción hormiga-polinizador en Cacao. Revista Panamericana de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. Vol.42, No2. p.178-186.
- KAUFMANN, T. 1974. Behavioral biology of a cocoa pollinator, *Forcipomyia inornatipennis* (Diptera, Ceratopogonidae) in Ghana. Journal of the Kansas entomological society. V.47(4); p. 541-548.
- KAUFMANN, T. 1975a. Cocoa pollination by males of *Forcipomyia squamipennis* (Diptera: Ceratopogonidae) in Ghana. Tropical Agricultural. Vol. 52(1); 71-74p.
- KAUFMANN, T. 1975b. Studies on the ecology and biology of a cocoa pollinator, *Forcipomyia squamipennis* I. & M. (Diptera, Ceratopogonidae), in Ghana, Cocoa Research Institute. Bulletin Entomology Research. No 65, U.S.A; p. 263-268.
- KEARNS, C; INOUE, D y WASER, N. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator Interactions. Annual review of Ecology and Systematics. Vol. 29; p. 83-112.
- MAVISOY, H y CABEZAS, S. 2009. Evaluación de la abundancia de Ceratopogónidos (Diptera) polinizadores de cacao (*Theobroma cacao*) en la hojarasca de 7 árboles de sombra, Talamánca - Costa Rica. Proyecto Cacao Centroamérica (PCC). 46p
- NARVÁEZ, Z. y MARÍN, C. 1996. abundancia de ceratopogonidos (Diptera) en una plantación de cacao, *Theobroma cacao* (Sterculiaceae), en Chuao, Edo. Aragua, Venezuela. Agrotrópica. Vol. 8(1); 15-22p.
- ROUSSEAU, G. 2010. Macrofauna and soil quality in cocoa-based agroforests and primary forest patches of Talamánca, Costa Rica. Proyecto Cacao Centroamérica. 33p.
- SORIA, S. 1973. Locais de coleta e distribuicao de *Forcipomyia* (Diptera, Ceratopogonidae) relacionadas com a floracao e frutificao do caqueiro na bahía, Brasil. Revista Theobroma, Itabuna, Brasil. Vol. 3(2). 41-49p.

SORIA, S y WIRTH, W. 1974. Identidade e Caracterizacáo taxonimica preliminar (Diptera, Ceratopogonidae) associadas com a polinizacáo do cacauero na Bahia. Revista Theobroma. Vol. 4(1); p. 3-12

SORIA. 1979. Insectos polinizadores: *Forcipomyia* métodos para aumentar la polinizacón y sus efectos sobre la produccón. En 7^a conferencia internacional de pesquisas em cacau.

SORIA, S; WIRTH, W y CHAPMAN, R. 1980. Insect pollination of cacao in Costa Rica, 1: Preliminary list of the ceratopogonid midges collected from flowers. Revista Theobroma. Vol. 10 (2): p. 61-68

SORIA; CHAPMAN y KNOKE. 1981. Cacao pollination in Costa Rica: Breeding sites of Ceratopogonid (Diptera) midges. Revista Theobroma. V.11(2); p. 119-123.

YOUNG, AM. 1979. Comparative experimental studies on the distribution and abundance of cocoa-pollinating midges in two cocoa farms in Costa Rica. Tropical region American society for horticultural science. V. 23; p. 125-132.

YOUNG Allem M. 1982. Las plantaciones de Cacao. Revista mensual Geomundo. V. 6.8; p. 160-167

YOUNG, AM. 1983. Seasonal differences in abundance and distribution of cocoa-pollinating midges in relation to flowering and fruit set between shaded and sunny habitats of the la Lola cocoa farm in Costa Rica. Journal of Applied Ecology. Vol. 20; p. 801-831.

AGRADECIMIENTOS

Universidad de Nariño: Jorge Velez Lozano M.S c., German Arteaga Meneses M.S c., Claudia Salazar Gonzales M.S c., William Ballesteros M.S c., Marino Rodriguez M.S c., Karol Henry Mavisoy I. AF.

Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza CATIE: Eduardo Somarriba PhD, Olivier Deheuvels PhD, Guillaume Rousseau PhD, Gerardo Lopez M.S c., Ignacio Rodriguez.