

**UNIVERSIDAD DE SAN PEDRO SULA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS TECNICAS**



**TESIS:**

**ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD DE INSECTOS POLINIZADORES EN SISTEMAS  
AGROFORESTALES DE CACAO Y SU RELACION CON LA PRODUCTIVAD Y  
DIVERSIDAD DE ESPECIES DEL DOSEL**

**PRESENTADO POR:**

**ROSA MELISSA RAMOS SERRANO**

**PREVIA OPCION AL TITULO DE:**

**INGENIERO AGRONOMO ADMINISTRADOR**

**SAN PEDRO SULA, CORTES - HONDURAS**

**SEPTIEMBRE, 2011**



**ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD DE INSECTOS  
POLINIZADORES EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE  
CACAO Y SU RELACION CON LA PRODUCTIVIDAD Y  
DIVERSIDAD DE ESPECIES DEL DOSEL**

**UNIVERSIDAD DE SAN PEDRO SULA**

**AUTORIDADES**

**VICE – RECTOR:**

Master Senén Eduardo Villanueva Henderson

**SECRETARIO GENERAL:**

Licenciado Osvaldo Salvador Valladares Rivera

**DECANO:**

Doctora Beatriz Brito

**CARRERA:**

Agricultura

**COORDINADOR:**

Máster Miguel Turcios Mayorga

**ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD DE INSECTOS  
POLINIZADORES EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE  
CACAO Y SU RELACION CON LA PRODUCTIVIDAD Y LA  
DIVERSIDAD DE ESPECIES EN EL DOSEL.**

Presentado por: Rosa Melissa Ramos Serrano

Aprobado:

---

Máster Néstor Macías Tronconi

Asesor Principal

---

Máster Miguel Turcios Mayorga

Coordinador

Carrera de Agricultura

Aunque pase por quebradas oscuras,  
No temo ningún mal,  
Porque tú estás conmigo  
Con tu vara y bastón,  
Y al verlos voy sin miedo.

Salmo 23; 4

A Dios, a mis Padres, mi Hermana y mi  
Hermanito, por todo su apoyo  
incondicional.

Para ustedes

Agradezco a Dios, por permitirme llegar a este momento de mi vida, por la sabiduría y la fuerza que me dio en los momentos que más lo necesitaba. Por darme salud cada día, la inteligencia y la paciencia para culminar esta etapa en mi vida y demostrarme cada día de que todo es posible si solo se lo propone uno mismo.

A mis padres por darme todo ese apoyo incondicional en cada momento de mi vida por darme las palabras de aliento que necesitaba para continuar con mis estudios, que hoy culmino y apoyarme en todas las decisiones que he tomado. Gracias por confiar y creer en mí.

A mi hermana y mi hermanito por estar allí conmigo en los momentos que más los necesite y darme ese apoyo incondicional, en esos momentos que necesitaba compartir con alguien los buenos momentos por hacerme reír en esos días de cansancio. Gracias por estar en mis triunfos y fracasos.

A mi Alma Mater Studiorum por los incalculables conocimientos adquiridos, las lecciones aprendidas y las inolvidables e irrepetibles experiencias vividas.

A Ing. Evelin Montoya por darme esos consejos necesarios y oportunos, y por ser mi amiga en esos momentos, agradezco infinitamente lo que hizo por mí.

A MsC. Néstor Tronconi por su apoyo en la elaboración de este proyecto.

A todas las personas que conocí en la Universidad de San Pedro Sula, y que dejaron una huella en mi corazón.

Y finalmente a todos mis maestros, compañeros y amigos por haberme brindado su apoyo incondicional, sus conocimientos que me han ayudado a crecer como persona y profesionalmente, así mismo al PCC, CATIE y APROCACAO por haberme permitido trabajar con ellos y obtener una gran experiencia y brindarme toda la información para la realización mi trabajo de tesis. GRACIAS

# INDICE

<b>PRESENTACION DE AUTORIDADES</b> .....	1
<b>HOJA DE APROBACION</b> .....	2
<b>FRONTISPICIO</b> .....	3
<b>DEDICATORIA</b> .....	4
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	5
<b>INDICE</b> .....	9
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	12
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	13
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	14
1.1 Definicion del Problema.....	16
1.2 Justificacion .....	17
1.3 Odjetivos .....	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4. Hipotesis de Estudio.....	19
<b>2. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	20
2.1 La Polinización como Servicio Eco sistémico .....	20
2.2 Sistemas Agroforestales con Cacao en Cortes y Yoro- Honduras .....	21
2.3 La polinización del Cacao y su importancia en el cultivo .....	23
2.4 Insectos polinizadores del Cacao .....	27
2.5.1 Influencia de los Factores ambientales sobre los ceratopogónidos .....	32
2.5.2. Enemigos naturales y Hospederos alternos de ceratopogónidos .....	33
2.5.3 Ciclo de vida de los ceratopogónidos .....	34
2.5.3.1 Larvas y pupas .....	35
2.5.3.2 Adultos .....	36

2.5.4 Hábitats de los ceratopogónidos.....	38
3.1 Descripción del área de estudio .....	47
3.1.1 Localización .....	47
3.2 Metodología.....	48
3.2.1 Selección del área de estudio .....	48
3.2.2 Descripción de puntos de muestreo y recolección de sustratos .....	49
3.2.3 Determinación de la abundancia y diversidad de adultos de los géneros <i>Forcipomyia</i> , <i>Atrichopogon</i> y <i>Dasyhelea</i> (Díptera, Ceratopogonidae). .....	50
3.3 Época de evaluación .....	52
3.4 Variables de estudio .....	53
3.5 Análisis estadístico .....	53
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>54</b>
4.1 Abundancia de Dípteros polinizadores (Géneros: <i>Forcipomyia</i> , <i>Dasyhelea</i> y <i>Atrichopogon</i> ) .....	54
4.2 Influencia del contexto local de los SAF de cacao sobre la abundancia de polinizadores. ....	55
4.2.1 Pendiente, Riqueza de Especies, Densidad de Frutales y Medicinales...55	
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>60</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>62</b>
<b>8. GLOSARIO .....</b>	<b>67</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>68</b>

## RESUMEN GENERAL

*Theobroma cacao* L. es un cultivo en donde la polinización es realizada básicamente por insectos (entomófila). Esto se debe a las características morfológicas de la flor que hace imposible la transferencia del polen hacia el estigma por otros agentes naturales. Por lo cual es aceptado que insectos Dípteros de la familia Ceratopogonidae, géneros: *Forcipomyia*, *Dasyhelea* y *Atrichopogon*, que son los principales agentes polinizadores.

Se elaboró una investigación para realizar un conteo de los insectos polinizadores de cacao en SAF en fincas de pequeños productores de los departamentos de Cortes y Yoro, Honduras. Las fincas se analizaron y se identificaron anteriormente con medidas de parcelas (50 x 20 mts), con el objetivo de realizar un conteo para conocer la diversidad de insectos que hay en las parcelas de cacao, y cuáles son las variables relacionadas con la presencia de estos insectos en las parcelas, ya que estas fincas representan casi el 50% del ingreso económico para las familias siendo el principal medio de vida económica en este sector. Se identificaron las parcelas según los parámetros establecidos en altura (msnm) y la cantidad de sombra.

Los resultados muestran la presencia de insectos polinizadores en 35 parcelas de las 37 estudiadas, estando en abundancia el género *Forcipomyia* en relación a los otros géneros *Atrichopogon* y *Dasyhelea*. Se demostró que la pendiente del terreno, la Riqueza de Especies y la Densidad de Especies Frutales y Medicinales presentan una relación positiva con la abundancia de insectos polinizadores en los géneros *Dasyhelea* y *Atrichopogon*. Y 15 de las variables estudiadas están relacionadas con la presencia y 3 variables están relacionadas con la ausencia de insectos en las parcelas de cacao.

Palabras Claves: Sistema Agroforestal, Mosquitas, *Forcipomyia*, *Dasyhelea*, *Atrichopogon*, Polinizadores, Parcela.

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Especies de insectos registrados en flores de cacao.....	25
Cuadro 2 Atributos claves en la biología y ecología de <i>Forcipomyia sp</i> .....	41
Cuadro 3 Numero de parcelas con presencia de cada uno de los 3 géneros de polinizadores .....	52
Cuadro 4 Medidas resumen de la abundancia de insectos polinizadores .....	52
Cuadro 5 Variables que mostraron relación con el insecto polinizador <i>Atrichopogon</i> y <i>Dasyhelea</i> en Cortes, Honduras.....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de la flor del cacao .....	21
Figura 2 Ciclo de vida del género <i>Forcipomyia</i> .....	32
Figura 3 Ecología y Biología de <i>Forcipomyia spp</i> .....	40
Figura 4 Ubicación de las parcelas de muestreo en SAF con cacao en los Departamentos de Cortes y Yoro, Honduras .....	44
Figura 5 Diseño del proceso de muestreo en cada cacaotal, con creación de un cuadro de muestreo dividido en 10 celdas.....	46
Figura 6 División del cuadro de muestreo en 10 celdas identificadas con códigos ...	46
Figura 7 Esquema de distribución de muestreo en parcelas de 20 x 50 m <sup>2</sup> .....	47
Figura 8 Trampas de emergencia de ceratopogónidos .....	48
Figura 9 Rasgos morfológicos de adultos de 3 géneros de Ceratopogónidos .....	49
Figura 10 Regresión entre la abundancia de <i>Atrichopogon</i> y <i>Dasyhelea</i> /m <sup>2</sup> respecto a la pendiente del terreno. ....	54
Figura 11 Regresión entre la abundancia de <i>Atrichopogon</i> y <i>Dasyhelea</i> /m <sup>2</sup> respecto a la riqueza de especies en el dosel. ....	54
Figura 12 Regresión entre la abundancia de <i>Atrichopogon</i> y <i>Dasyhelea</i> /m <sup>2</sup> respecto a la Densidad de Frutales y Medicinales en el cacaotal. ....	55
Figura 13 Variables relacionadas con la presencia y ausencia de insectos polinizadores en SAF de cacao en el Departamento de Cortes, Honduras. ....	56

# 1. INTRODUCCIÓN

La polinización es un servicio eco sistémico que consiste en la transferencia de polen desde la antera, hacia el estigma, en la misma flor o entre flores diferentes de una o más plantas. La polinización es vital para la producción de alimentos y los medios de vida de los seres humanos, y relaciona directamente los ecosistemas silvestres con los sistemas de producción agrícola. La gran mayoría de las especies de plantas fanerógamas sólo producen semillas si los animales polinizadores han transportado previamente el polen de las anteras a los estigmas de sus flores. (FAO, 2008)

La polinización por animales representa un servicio crítico para los ecosistemas, tanto desde el punto de vista biológico como económico (Kearns *et al.* 1998). Cerca del 90% de las 300.000 especies de angiospermas son polinizadas por animales (Richards, 1986) siendo insectos el 90% de los polinizadores (Buchmann & Nabhan, 1996 citados por Chacoff, 2006). Muchos cultivos tropicales como el cacao, dependen en gran medida de los polinizadores (90% de las cosechas dependen de que la polinización se realice adecuadamente) (FAO, 2008).

En el cacao, la tarea de la polinización es llevada a cabo casi exclusivamente por micro dípteros de la familia Ceratopogonidae (Géneros *Forcipomyia*, *Daisyhelea*, *Atrichopogon*), entre los cuales, ciertas especies del género *Forcipomyia* se encuentran altamente especializadas para polinizar las flores del cacao debido a las características específicas de la estructura morfológica del insecto (tamaño, disposición de setas en diferentes partes del cuerpo) (Soria, 1973; Kaufmann 1975; Soria, Wirth y Chapman 1980; Brew, 1985), y al mismo tiempo, a la complejidad de la estructura de la flor del cacao, la cual parece exclusivamente diseñada para que estos insectos sean los que la polinicen (Goitia, 1992).

El cacao es un cultivo que se desarrolla en zonas tropicales, donde ha sido cultivado en su mayor parte por comunidades nativas, para las cuales representa importancia no solo económica sino cultural (Dubois, 2007). El método de cultivo utilizado por tradición ha sido con sistemas agroforestales, en los cuales integran una gran variada gama de árboles de los que se obtienen diferentes productos en el mediano y largo plazo (frutas, madera). Esto favorece el cultivo del cacao en tanto que es una especie umbrófila que evolucionó bajo circunstancias de dosel cerrado y se cultiva bajo la sombra de árboles más grandes pues requiere protección para su desarrollo normal y producción. En las selvas tropicales comparte el segundo y tercer estrato (Conabio, 2008). Estas prácticas han implicado una serie de beneficios desde múltiples campos tanto para las comunidades dedicadas a su cultivo, como para el medio natural que los acoge. Uno de estos beneficios es la conservación de la biodiversidad y dentro de ella se incluyen los insectos polinizadores.

El presente estudio pretende hacer una estimación de la abundancia y riqueza de los insectos polinizadores del cacao en campo, en sistemas agroforestales tradicionales, y relacionarla con la diversidad de especies del dosel de sombra y la productividad de los cacaotales. Este estudio se realizó en el marco del proyecto Competitividad y Ambiente en los Paisajes Cacaoteros de Centroamérica (PCC) formando parte del componente 1 “Producción y Ambiente”. El área de estudio está comprendida por una red de 36 parcelas de plantaciones de cacao (establecidas por el estudio de enfermedades, productividad y biodiversidad realizada por Avelino y Deheuvels, 2008 para caracterizar diferentes dominios agroecológicos) y 4 sistemas naturales (Bosques) localizados en las comunidades de Jalisco, Nueva Delhi (2) y Chivana, todos en el municipio de Omoa, Cortes y el Negrito, Yoro, Honduras.

## 1.1 DEFINICION DEL PROBLEMA

La producción de cacao a nivel centroamericano se concentra, principalmente, en manos de familias cacaoteras de bajos recursos económicos, provenientes de grupos indígenas, afro caribeños y campesinos que cultivan en regiones alejadas (PCC, 2007). En su mayoría las zonas de producción corresponden a sitios poco perturbados en las cercanías de regiones boscosas, quienes han establecido sistemas de producción compatibles con la conservación de la biodiversidad y de organismos benéficos debido al uso reducido de agroquímicos y la accesibilidad de nichos para estas poblaciones (Greenberg, 1998; Parrish et ál., 1998).

Sin embargo, el rendimiento de las plantaciones de cacao en Centroamérica es bajo, (alrededor de  $250 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ , en algunas zonas como en Costa Rica se produce menos de  $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ ). Estos rendimientos son inferiores al promedio, ya que se estima que con un manejo moderado un cacaotal produce unos  $500 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ . Esta situación se da probablemente como resultado de la acción de uno o varios factores relacionados con el manejo de la plantación (abandono del cacaotal, falta de asistencia técnica, variabilidad genética e incompatibilidad entre árboles), o bien debido a las pérdidas generadas por problemas fitosanitarios (monilia y mazorca negra) y animales vertebrados. Otro factor que interviene en la producción de frutos (cosechas) es la reducción de las poblaciones de insectos polinizadores y sus ecosistemas. (Young, 1982).

Si se considera que los rendimientos del cacao están relacionados con las poblaciones de polinizadores; que la flor del cacao se ha modificado para ser casi exclusivamente polinizada por los Ceratopogónidos; que la abundancia relativa de los polinizadores con relación al total de insectos en las plantaciones es menor del 10% (Soria, Wirth y Chapman, 1980); y que actualmente se desconoce cuál es el estado de la abundancia y riqueza de las poblaciones de insectos polinizadores del cacao y cómo están relacionados con la productividad en Cortes y Yoro, así como, se desconoce si las prácticas culturales (en especial el manejo de la cobertura y el dosel), que realizan los agricultores contribuyen o no a generar las condiciones propicias para el desarrollo, la conservación y el sostenimiento de estos insectos. Se concluye que el desconocimiento del estado real de las poblaciones y los requerimientos ecológicos de estos insectos puede ser riesgoso en tanto que se pueden estar incurriendo en medidas y prácticas que desfavorezcan las poblaciones de estos importantes animales en los sistemas de cultivo del cacao.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El estudio de la relación entre los ceratopogonidos y el cacao permite avanzar en el conocimiento del funcionamiento de los bosques tropicales como tales y disponer de bases para el manejo apropiado de estos agroecosistemas, para lo cual es importante y necesario hacer investigaciones sobre la taxonomía y ecología de las especies que polinizan. (Narváez, Z; Marín, 1996). El conocimiento sobre ritmos naturales de poblaciones de insectos es base para el desarrollo de programas de manejo racional de insectos útiles y dañinos. (Soria, 1979)

La importancia de los insectos polinizadores en cacao ha sido ampliamente reportada (Hernández, 1965; Winder y Silva, 1972; Kaufmann, 1975; Young, 1982, 1986). Sin embargo, la mayoría de referencias existentes acerca del tema datan de dos décadas atrás. La disminución de los trabajos publicados en esta línea de investigación se dio como resultado de la redirección hacia otras áreas de interés relacionado con el control de enfermedades y los sistemas agroforestales de este cultivo y a la dificultad de estudiarlos (casi invisibles) (Dubois, 2007). De esta manera, las investigaciones en el tema de los polinizadores como un componente importante en los sistemas agroforestales de cacao han sido investigadas con menor énfasis, de aquí la necesidad de revalorar el servicio que prestan los insectos polinizadores al cultivo de cacao.

El conocimiento del estado de la abundancia y riqueza de las poblaciones de insectos polinizadores del cacao y su relación con la productividad, así como la influencia de las prácticas culturales (manejo del dosel de sombra) sobre el desarrollo y la conservación de estos insectos, se constituye en una herramienta clave dentro del contexto del trabajo del Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) la cual podría generar y complementar algunos referentes científicos que contribuyan para la elaboración de estrategias educativas y pedagógicas dirigidas a los agricultores de la zona de Cortes y Yoro (parte de la región de influencia del PCC en Honduras) para reconocer la importancia de estos insectos y despertar e incentivar el interés por la conservación de los mismos, con lo cual se beneficiarían las familias productoras en tanto que ayudan a mantener buenas producciones y por tanto buenos ingresos, y además estarían favoreciendo la conservación de la biodiversidad y el equilibrio eco sistémico natural de la zona.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

- ✓ Evaluar la abundancia y riqueza de la diversidad de insectos polinizadores de cacao (Ceratopogonidae) en los sistemas agroforestales de cacao de la región de Cortes y Yoro.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar la influencia de la diversidad de especies del dosel de sombra en los sistemas agroforestales de cacao de Cortes y Yoro, en la riqueza y abundancia de insectos polinizadores.
- ✓ Determinar la influencia de la composición botánica de la hojarasca en los sistemas agroforestales de cacao de Cortes, en la riqueza y abundancia de insectos polinizadores
- ✓ Analizar el impacto del servicio eco sistémico que brinda la diversidad de insectos polinizadores sobre la productividad de sistemas agroforestales de cacao.

## 1.4. HIPÓTESIS DEL ESTUDIO

- ✓ Sistemas con mayor diversidad en el dosel de sombra presentan mayor riqueza y abundancia de insectos polinizadores.
- ✓ Los sustratos orgánicos con mayor complejidad en su composición botánica, dada por la diversidad de especies del dosel, influyen sobre la riqueza y abundancia de insectos polinizadores.
- ✓ La riqueza y abundancia de insectos polinizadores, dada por la contribución de sustratos de las especies del dosel incrementa la productividad del sistema.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 La Polinización como Servicio Eco sistémico

Los servicios de los ecosistemas constituyen un grupo de procesos ecológicos que son esenciales para el bienestar del hombre, estos servicios pueden proveer beneficios significativos y mensurables para el hombre y transformarse en argumentos económicos para la conservación de los ecosistemas naturales (Constanza *et al.*, 1997). Sin embargo, los servicios de los ecosistemas están pobremente estudiados ecológica y económicamente (Kremen, 2005)

El cambio en el uso de la tierra, posiblemente a través de la intensificación de la agricultura, ha sido quizá la principal causa de la disminución de la biodiversidad en ambientes terrestres en los trópicos (Turner, 1996; Laurence *et al.*, 2000 citados por Chacoff, 2006). Esta disminución se ha asociado a una degradación de los servicios que proveen los ecosistemas, uno de estos es la polinización (Allen-Wardell *et al.*, 1998 citados por Chacoff, 2006).

Los efectos de las reducciones en la abundancia y diversidad de los polinizadores han recibido mucha atención en los últimos años, ya que los polinizadores brindan un servicio crítico para los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas (Chacoff, 2006), 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 (Richards, 1986) siendo insectos el 90% de los polinizadores (Buchmann & Nabhan, 1996 citados por Chacoff, 2006)).

Este tipo de polinización también ha sido reconocida como un proceso fundamental para la obtención de producciones rentables en varios cultivos de importancia agrícola. La polinización de los cultivos representa un servicio de los ecosistemas naturales de un gran valor económico (Constanza *et al.*, 1997; Roubik, 2002b; Ricketts *et al.*, 2004 citados por Chacoff, 2006). Se estima que alrededor del 30% de los productos de consumo, aceites comestibles medicinas y fibra que utiliza el ser humano dependen de animales polinizadores (CSPNA, 2007).

El servicio que brindan los insectos polinizadores puede variar debido a factores como condiciones geográficas, disponibilidad de hábitats apropiados, uso de productos tóxicos, entre otros; sin embargo, se sabe que estos animales son esenciales directa o indirectamente para la producción de un 15-30% de la comida de Estados Unidos (Mc Gregor, 1976 citado por Chacoff, 2006), existen estimaciones que indican que el valor del servicio que prestan los insectos polinizadores no domesticados representa la generación de \$60 billones al año en ese país (Losey y Vaughan, 2006), tan solo el valor de la abeja *Apis mellifera* como polinizador de cultivos se encuentra entre 1,6 a 5,7 billones de dólares por año (Southwick & Southwick, 1992 citado por Chacoff, 2006)

Más del 80% de todas las especies en floración y más de las tres cuartas partes de los cultivos más importantes del mundo dependen de los agentes de polinización: cerca del 66% de las 1500 especies de cultivos del mundo (Roubik, 1995 citado por Chacoff, 2006). Los grupos de mayor importancia son las abejas (73% de participación) las cuales se encargan de la polinización en cultivos como la calabaza, mangos y arándanos, los dípteros que polinizan el 19% de los cultivos de interés incluyendo al cacao, murciélagos (6,5%), otras especies de insectos como mariposas, polillas y escarabajos (9%) y aves (4%) (El-Hage Scialabba y Hattam, 2003), otros himenópteros, coleópteros, y hasta reptiles también contribuyen a la producción de semillas de muchas plantas (Proctor *et al.*, 1996 citado por Chacoff, 2006).

La situación actual de la polinización como servicio, es un tema de renovado interés, en tanto que se ha considerado como un servicio crítico en disminución, tanto en sistemas naturales como agrícolas, debido a la transformación masiva e intensiva de los ambientes terrestres producida por las distintas actividades humanas. La ocupación por la polinización, ya se ha extendido en círculos científicos y políticos. Hacia finales de los años 90, tanto Buchmann & Nabhan (1996) como Allen-Wardell *et al.*, (1998) propusieron que la protección de los polinizadores nativos era fundamental para asegurar el abastecimiento de comida (Chacoff, 2006).

A pesar de que la mayoría de los cultivos tropicales y subtropicales dependen de polinizadores en alguna medida para producir semillas, la polinización de los mismos, en la mayoría de los casos, queda librada al azar considerándose un servicio gratuito (Corbet, 1991 citado por Chacoff, 2006), sin embargo, cada vez más, el servicio de la polinización en la agricultura se ha empezado a contemplar y formar parte de la estructura de costos asociados a distintos cultivos (Krell & Kenmore, 1998; De Marco & Monteiro Coelho, 2004 citados por Chacoff, 2006)

## **2.2 Sistemas Agroforestales con Cacao en Cortes y Yoro-Honduras**

La producción mundial del cacao esta alrededor de 3'600.000 toneladas de grano (IICO, 2006). Hoy en día, se cultiva en cerca de 50 países tropicales de América, África y Asia. Este cultivo jugó un papel importante en la transformación de los paisajes de tierras de bosques tropicales en el siglo pasado y lo sigue haciendo hoy en día. (Lass, 2006). El aporte de los pequeños agricultores que se dedican a este cultivo es bastante significativo sobre la producción mundial, teniendo en cuenta que cerca de 3 millones de toneladas son cosechados cada año por los pequeños propietarios (Lass, 2006), lo cual corresponde a algo más del 85% de la producción mundial anual.

Los sistemas agroforestales son formas de uso y manejo de los recursos naturales, en los cuales, especies leñosas, son utilizadas en asociación con cultivos agrícolas o animales, en arreglos espaciales o cronológicos en rotación con ambos, las cuales han sido usadas satisfactoriamente para suplir múltiples necesidades (Glencross, 1989; ICRAF, 1982; Nair, 1993 citados por López, 2007) existen interacciones ecológicas y económicas entre los árboles y los otros componentes de manera temporal, simultánea o secuencial, que son compatibles con las condiciones socioculturales para mejorar las condiciones de vida de la región. El interés por este tipo de sistemas se debe a la necesidad de encontrar mejores opciones para los problemas de baja producción y degradación de la tierra en los trópicos (López, 2007).

Los sistemas agroforestales se enfocan a permitir actividades productivas en condiciones de alta fragilidad, con recursos naturales degradados, mediante una gestión económica eficiente, alterando al mínimo la estabilidad ecológica, lo cual contribuye a alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción y, como consecuencia, mejorar el nivel de vida de la población rural. En consecuencia, persiguen objetivos tanto ecológicos como económicos y sociales. (Sayous *et al.*, 1977 citado por FONDEP-INFOR, 2009)

La característica principal de los Sistemas Agroforestales es su capacidad de optimizar la producción del territorio (unidad predial) a través de una explotación diversificada, en la que los árboles cumplen un rol fundamental (FONDEP-INFOR, 2009) . Estos sistemas han sido usados desde siempre por las comunidades campesinas, y están puestos al frente por los científicos que alaban sus capacidades de favorecer la biodiversidad, la estructura forestal y la diversidad de especies asociadas que ofrecen una gran variedad de hábitats para la flora y la fauna. Este modo de cultivo se usa mucho en la zona intertropical y su eficiencia económica está comprobada (Dubois, 2007).

Los beneficios que prestan los sistemas agroforestales tradicionales de cacao a nivel ecológico, se fundamentan en la conservación de la biodiversidad del bosque original, debido a la alta diversidad y complejidad estructural del dosel de sombra (Göts, 2006), así pues la alta diversidad de estos sistemas puede aproximarse a la complejidad de la estructura y composición florística del bosque (Somarriba y Harvey, 2003), también se favorece la conectividad del paisaje y reducen los efectos del uso del suelo agrícola (Dahlquist *et al.*, 2006 citado por Mavisoy y Cabezas, 2009), la sombra regula la temperatura del suelo y la humedad, aumentando la eficiencia del uso de nutrientes del sistema (Young, 1997).

En el campo social, los pequeños agricultores se ven favorecidos por la explotación (venta o consumo) de las especies frutales y maderables de los sistemas, estas se convierten en fuente de recursos suplementarios de ingresos, lo cual brinda una

mayor seguridad económica ante las fluctuaciones de precios del cacao en el mercado (Rice, 2000 citado por Mavisoy y Cabezas, 2009).

El cacao es un cultivo económica y culturalmente importante en la región (Dubois, 2007) y es producido en medio de sistemas agroforestales con muchas otras plantas asociadas lo cual genera una alta riqueza de especies vegetales y animales (mamíferos, coleópteros (Harvey *et al.*, 2006)) entre las que se destacan por su importancia económica y ecológica los dípteros polinizadores del cacao. El cultivo se produce sin el uso de insumos agroquímicos y se destina a los mercados orgánicos y tradicionales tanto a nivel local como internacional.

Los campesinos conservan los métodos tradicionales de cultivo (quema, cultivos asociados, barbecho, rotaciones) hay escasa mecanización, se usa principalmente el machete. La agroforestería es el modo de cultivo más usado (Dubois, 2007).

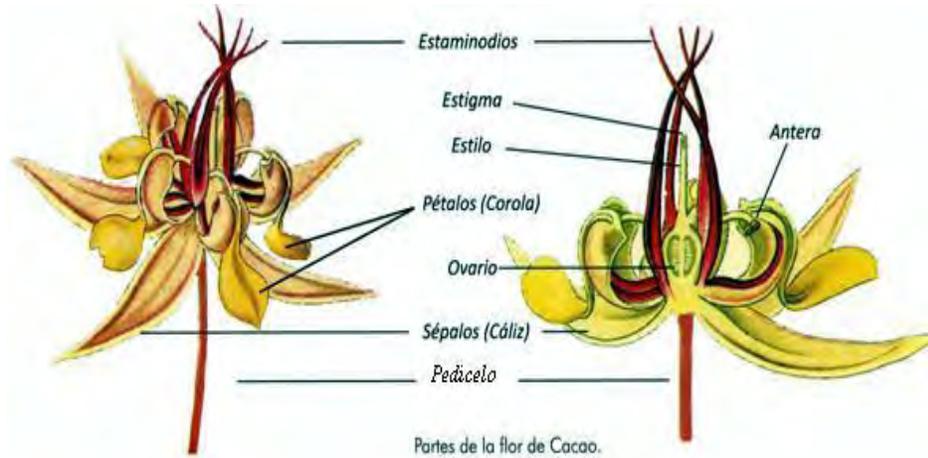
### **2.3 La polinización del Cacao y su importancia en el cultivo**

La polinización del cacao es fundamentalmente cruzada (entre el 90 y 95%), lo que significa que es necesario que un agente lleve el polen de un árbol donador a uno receptor, estos agentes son insectos. Algunas selecciones de cacao tienen la característica genética de que no pueden fecundarse a sí mismas o a otros árboles. Esto se denomina incompatibilidad y se hereda en forma simple; en este caso algunos descendientes no pueden cruzarse con sus padres, sus hermanos o con ellos mismos. (Enríquez, 2009) La gran mayoría de variedades que cultivan los pequeños agricultores son de naturaleza auto incompatible.

Como ocurre con otras especies de árboles tropicales, el cacao estuvo altamente integrado a los complejos ecosistemas de bosques naturales, y su conversión a estatus de agro ecosistemas podría haber reducido la eficiencia de la actividad polinizadora. (Young, AM. 1979)

Las flores de cacao son producidas en agrupaciones directamente de la madera vieja del tallo principal o de las ramas viejas en los puntos donde originalmente fueron hojas axilares. Cada flor tiene 5 pétalos cerrados dentro de cinco sépalos más largos, los cuales son su parte más sobresaliente. Los pétalos tienen dos prominentes líneas guía purpuras. El ovario superior contiene cinco carpelos, cada uno con numerosos óvulos que desarrollan dentro las semillas de comercio. El único estilo se divide en 5 estigmas, este es rodeado por un círculo interior de cinco estambres, cada uno con cuatro anteras y un círculo de 5 estaminodios, los cuales están unidos en la base. Los filamentos de los estambres curvan hacia el exterior así que las anteras se echan dentro de las bolsas de los pétalos y los estaminodios erectos forman una barrera alrededor del estilo (Free, 1970 citado por Bystrak and Wirth, 1978).

**Figura 1** – Estructura de la flor del cacao



La flor abre cerca al alba y las anteras dehesen antes del amanecer. El estigma es generalmente polinizado dos a tres horas más tarde, pero es receptivo desde el amanecer hasta la puesta del sol del día que se abre. El estigma es receptivo al polen a lo largo toda su longitud y no solo en la punta. Si la flor no es polinizada, normalmente caerá al siguiente día. (McGregor, 1976 citado por Bystrak and Wirth, 1978). En general el porcentaje de la “polinización filamentada” varía en diferentes especies, pero esta es siempre menor que la “polinización estaminoide” (Kaufmann, 1975)

Pareciera que las flores del cacao están hechas para impedir una fácil polinización, el viento no es un buen factor de polinización, porque el polen es pegajoso, se humedece rápidamente, adquiere peso y cae. Las flores tienen una conformación morfológica que dificulta el acceso de muchos insectos a sus partes internas, los tricomas y glándulas que segregan sustancias de recompensa para los polinizadores, su polen no está al alcance de los insectos que comen de ella, la abeja, por ejemplo, es incapaz de impregnarse de polen de cacao (Goitia, 1992)

Sin embargo múltiples estudios realizados en varias regiones de África, Asia, Sur y Centro América indican que existe un grupo de insectos del orden Díptera (familia Ceratopogonidae) que se encuentra presente en las plantaciones de cacao y que se encuentra capacitado para ejercer una polinización eficiente de las flores, debido a que la estructura morfológica del insecto parece estar altamente adaptada a la

estructura de la flor del cacao: la habilidad para polinizar depende principalmente de los hábitos de los insectos, mientras la eficiencia depende más de estructuras adaptadas. La incapacidad de otros insectos diferentes a Ceratopogónidos para coleccionar y depositar polen se da porque la estructura de la flor del cacao generalmente excluye o disuade la polinización por otros insectos. (Bystrak y Wirth, 1978 citados por Brew, AH. 1984)

Existen múltiples factores que influyen sobre la polinización: La relación entre la diversidad de polinizadores y la polinización de un cultivo en un área dada, depende de factores como la abundancia y la eficiencia de cada polinizador, la dinámica de las poblaciones de polinizadores, e incluso la competencia entre el cultivo y otras plantas a través de la atracción de polinizadores (Balvanera *et al.*, 2001 citado por Chacoff, 2006).

La polinización por ceratopogónidos depende de varios factores: edad y condición de la flor, disponibilidad de ellas, comportamiento de los mosquitos en la flor, disponibilidad de insectos, cantidad de polen adjunto al insecto, su tamaño, especie y sexo del insecto (Kaufmann, 1975), la viabilidad y disponibilidad del polen, el cual es viable hasta las 48 horas y declina rápidamente en su disponibilidad después de este tiempo (Smit, 1950).

La polinización efectiva por ceratopogónidos es altamente dependiente de la sincronización de las poblaciones dinámicas de los mosquitos con los ciclos de floración de los árboles, y la abundancia de mosquitos relativa a la abundancia de flores (Young, 1983). Las variables ligadas a los ritmos poblacionales de actividad de los insectos y las asociadas a los ritmos de la floración determinan el modelo de fluctuación de la polinización (Soria, 1977).

Otros factores tales como los de tipo ambiental también influyen sobre la polinización: la precipitación influye directamente sobre la polinización (De la Cruz y Soria, 1973) y por tanto indirectamente en la formación de frutos (Figueroa y De la Cruz, 1984). Igual ocurre con el calor y el agua (en forma de vapor y líquida) y con variables meteorológicas más complejas, como la nubosidad (Soria, 1979, 1977). Las temperaturas relativamente bajas son favorables, pero la precipitación es claramente desfavorable al éxito de la polinización (Mossu, 1975 citado por Boussard B, 1980). La polinización depende directamente de la floración y de la lluvia, la ocurrencia de la floración podría ayudar a programar las prácticas agrícolas principalmente aquellas fitosanitarias que podrían afectar las especies polinizadoras (De la Cruz y Soria, 1973).

También las Prácticas y labores culturales como la poda influyen en la floración, pues induce mayor brotación de primordios, la polinización y formación de frutos fueron afectadas al reducirse las poblaciones de *Forcipomyia spp.* Por alteraciones del medio y por destrucción de ramas productivas en Palmira, Valle (Figueroa y De

la Cruz, 1984). Y finalmente, la genética del cacao: parece que ciertos materiales genéticos son más atractivos para los polinizadores (Narváez y Marín, 1996).

Se ha demostrado que el porcentaje de polinización natural del cacao oscila alrededor del 5% del total de flores que produce un árbol. En Malaysia se determinó que una planta de cacao puede producir un promedio de 4500 a 5000 flores en 6 meses, y el porcentaje de polinización efectiva que forma fruto, fue solo 5,2% (Ghani, 1987).

En términos generales los polinizadores son relativamente escasos en las plantaciones de cacao (menor al 10% de los dípteros de las plantaciones (Soria, Wirth y Chapman, 1980; Brew, 1984)), lo cual ha sido consecuencia de la tendencia a la simplificación de la estructura florística de muchos de los cacaotales y a prácticas del pasado como la eliminación de la hojarasca de la plantación, que reducen los micro hábitat necesarios para el desarrollo de estos insectos (Young, 1982).

El proceso lógico en el cultivo del cacao donde los bajos niveles de polinización plantean un problema es buscar mejorar los métodos culturales necesarios para el mantenimiento de altas poblaciones de polinizadores (Brew, 1988).

En conclusión: debido a las condiciones estructurales de las flores del cacao, a la naturaleza auto incompatible de la mayor parte de variedades que se cultivan, y por tratarse de una planta principalmente alógama de polinización cruzada natural, el servicio de polinización ofrecido por insectos especialmente acondicionados para esta labor es de importancia vital para el éxito en los rendimientos del cultivo, debido a que sin la presencia de los mismos, no podría llevarse a cabo el proceso de transporte de polen y la productividad sería nula.

La calidad de la polinización es un componente esencial del rendimiento, en efecto si pocas flores son fuertemente cargadas de polen, se tendrá marchitez diferencial importante debido al mal llenado de granos del fruto y una mala cosecha. Si por el contrario, muchas flores son bien cargadas de agregados de polen (más de 50 granos), se tendrá un máximo de frutos bien llenos de granos, la fructificación total será óptima y la cosecha importante (Parry, 1978 citado por Boussard, 1980). Otros autores coinciden en que estigmas o estilos con un número mínimo de 35 a 40 granos de polen constituyen una polinización efectiva en cacao (Posnette, 1944; Kaufmann, 1975 citados por Brew, 1984; Edwards y Martinson en comunicación personal, 1972 citados por Kaufmann, 1975).

La polinización es un proceso fundamental para la producción de mazorcas de cacao, el nivel de frutos producidos por el árbol de cacao está determinado por la acción de varios factores: árboles que lo rodean, condiciones climatológicas, enfermedades, plagas y agentes polinizadores (Young, 1982).

Un factor que afecta la producción de cacao en muchos países, es la deficiente polinización. Las características morfológicas y la incompatibilidad en las plantas de cacao hacen que el cacao sea en alguna medida, dependiente de las poblaciones de insectos como agentes polinizadores (Hernández, 1965; Soria, *et al.*, 1980 citados por Elizondo *et al.*, 1988).

Se ha comprobado que el porcentaje de frutos pequeños está relacionado con la carga de polen en los estilos de las flores y con las características de la entomofauna (Parry, 1978 citado por Boussard, 1980). Se estima que la relación entre la polinización y la formación de frutos puede ser de un fruto por cada 3 flores polinizadas (Figueroa y De la Cruz, 1984). De la Cruz y Soria (1973) encontraron una correlación entre polinización y floración, pero la relación entre polinización y producción no fue demostrada estadísticamente, posiblemente a causa del retraso en la ocurrencia de efectos entre polinización y cosecha (5 a 6 meses).

Se han observado relaciones de proporción directa entre la disponibilidad de insectos polinizadores, floración del cacao, polinización natural, fertilización natural y producción (Soria, 1979), de esta manera, la polinización y otras fases reproductivas del cacaotero son dependientes en grado significativo de la presencia de los insectos polinizadores como *Forcipomyia spp* en Bahía, Brasil (Soria, 1979) y aunque a veces la abundancia de polinizadores no se correlaciona con la floración, ni con el número de frutos grandes cosechables (posiblemente debido a factores como enfermedades, insectos que reducen el número de frutos a madurez), si lo hace con el número de frutos pequeños. (Narváez y Marín, 1996).

Se puede concluir entonces que la polinización por insectos (Mire y Mbondji, Winder y Silva, 1972) o actividad polinizadora (Winder, 1977 citado por Young, 1979), las características de la entomofauna polinizadora y la intensidad de floración son parámetros que gobiernan el rendimiento del cacao y son determinantes para mantener buenas producciones (Parry, 1978 citado por Boussard, 1980).

## **2.4 Insectos polinizadores del Cacao**

Estudios en varias regiones productoras de cacao alrededor del mundo han demostrado que los polinizadores del cacao pertenecen principalmente al orden Díptera, siendo la familia Ceratopogonidae (géneros *Forcipomyia*, *Dasyhelea* y *Atrichopogon*). Y aunque el número total de insectos que participan en la polinización del cacao aún no está precisado, los ceratopogónidos del género *Forcipomyia* parecen ser importantes en la mayoría de áreas estudiadas (Fish y Soria, 1978; Downes, 1958; Young, 1982 citados por Elizondo *et al.*, 1988; Bystrak and Wirth, 1978; Billes y Posnette citados por Brew, 1984).

Saunders dividió inicialmente el género *Forcipomyia* en ocho subgéneros con base en los caracteres de los estados de imago e inmaduros. Nuevos Subgéneros fueron

adicionados. Dessart elaboro una clave para identificar las especies de polinizadores del cacao y afines del genero *Forcipomyia* en el Congo, África. Saunders, Wirth y Dow y Wirth diseñaron claves para las especies neo tropicales y neárticas de los subgéneros *Thyridomyia* y *Synthiridomyia* (Soria, 1976).

Para el género *Forcipomyia*, en América central y del sur varias especies de los subgéneros *Euprojoannisia*, *Warmkea*, *Thyridomyia* (Chapman y Soria, 1983; Bystrak and Wirth, 1978; Soria, 1976), *F. Microhelea* (Soria, Wirth and Chapman, 1980), han sido reportados como los más importantes polinizadores, de mayor abundancia, y presentes la mayor parte del año en las plantaciones; para el África se han reportado a *F. squamipennis* y *F. inornatipennis* (Kaufmann, 1975), *F. castanea* (Kaufmann, 1974), *F. ashantii* y *F. Lepidohelea* (Brew, 1985 citado por Brew, 1988)

**Cuadro 1** – Especies de insectos registrados en flores de cacao por Hernández, 1966 y determinados por Wirth en 1966 (Soria, Wirth and Chapman, 1980).

Grupo	Número total de especímenes
<i>Forcipomyia (Euprojoannisia)</i>	241
<i>F. (Thyridomyia) spp.</i>	27
<i>Dasyhelea spp</i>	17
<i>Cecidomyiidae</i>	15
<i>Atrichopogon spp</i>	10
<i>Thysanoptera</i>	10
<i>F. (Thyridomyia) nana Macfie</i>	8
<i>F. (Forcipomyia) spp</i>	8
<i>F. Metaforcipomyia spp</i>	2
<i>Culicoides spp.</i>	2
<i>Chironomidae</i>	2
<i>F. (Trichohelea) sp</i>	1
<i>F. (Microhelea) fuliginosa</i>	1
<i>F. (Lasiohelea) stylifera</i>	1
<i>Brachypogon sp</i>	1
<i>Psychodidae</i>	1
<i>Sphaeroceridae</i>	1

Hernández crío algunos *Forcipomyia* spp en laboratorio, así que las figuras no pueden ser usadas para denotar exactamente comparaciones de abundancia de mosquitos en campo.

La facultad única que tienen los ceratopogónidos, en especial el género *Forcipomyia* para la polinización del cacao, ha sido reportado por múltiples autores:

El tamaño de los ceratopogónidos varía entre 2 mm a 3 mm de largo. Aquellas especies menores a 2 mm no son efectivos polinizadores pues no tocan el estilo cuando se ubican sobre el estaminodio. (Kaufmann, 1975). El tórax de *Forcipomyia spp* mide 0.16 mm de ancho y 1.0 mm de largo, este puede acomodarse con muchos granos de polen, cada uno de los cuales mide 16 micras de diámetro. Una gran transferencia de polen se necesita, porque menos de 35 granos de polen en el pistilo puede causar aborto (Kaufmann, 1975 citado por Ghani, 1987).

El proceso en el cual el insecto realiza la polinización de las flores del cacao esta reportado por varios autores: según Soria, cuando la mosquita camina y prueba la superficie interior de los estaminodios, eventualmente entrara en los depósitos de los pétalos, donde el polen se adhiere a su dorso. El espacio entre el estigma y los estaminodios parecía permitir el paso del insecto, mas no de su carga de granos de polen, que quedaba depositado en el estigma al pasar... el tiempo registrado necesario para que las mosquitas efectuasen una polinización típica fue de 10 a 45 minutos en Bahía, Brasil (Soria, 1974).

Kaufmann lo explica mejor y lo resume de la siguiente manera: los ceratopogónidos llevando polen en sus cerdas torácicas lo arrastran al interior del estaminodio, se detienen a probar su superficie y, si el estaminodio esta paralelo al pistilo, los granos de polen son puestos en el estilo y/o estigma pues el tórax roza contra ellos. Si el estaminodio esta oblicuo al pistilo, el polen se depositaba solamente en la base del estaminodio. Como el interior del estaminodio es veloso en la base, es imposible para el insecto salir sin frotarse. Además los granos de polen los llevan en toda la superficie del cuerpo, incluyendo antenas, tórax, abdomen y patas, todos ellos cargados de cerdas (Kaufmann, 1975).

En cuanto a la eficiencia de la polinización por los insectos, se ha reportado lo siguiente:

El género *Forcipomyia spp*, está calificado como el principal agente polinizador del cacao, dentro de este, se ha encontrado que las especies de *F. Eurojoannisia*, *F. squamipennis*, *F. ashantii*, *F. castanea*, *Stilobezzia* y *Atrichopogon* son las más eficientes pues exhiben hábitos eficientes y estructuras adaptadas para tal fin, al contrario de otros insectos como hormigas, áfidos y psilidos (Brew, 1984). Para Turrialba, Costa Rica, las especies más eficientes de *Forcipomyia* teniendo en cuenta número y frecuencia de actividad polinizadora fueron: *F. (Euporjoannisia) blantoni*, *F. (Warmkea) tuberculata*, *F. (Thyridomyia) spp.* y *F. (Forcipomyia) spp.* (Soria, Wirth and Chapman, 1980). En Ghana, las especies de *F. Euprojoannisia*, *F. ashantii* y *F. Lepidohelea*, son las más eficientes (Brew, 1985 citado por Brew, 1988). Mientras que otros autores reportan que *F. inornatipennis* ha probado ser mejor polinizador que otras especies como *F. castanea*, *F. squamipennis*, especies de *Atrichopogon* (Kaufmann, 1974).

En lo referente al periodo del día de actividad de los insectos en la labor polinizadora, se conviene en decir que las horas de actividad de *Forcipomyia* son limitadas (Decazy, 1979; Fontanilla, 1961, 1962; Kaufmann, 1975; Masaux, 1976; Winder, 1978 citados por Boussard, 1980). Estos insectos trabajan sobre todo en la mañana y al final de la tarde, prevaleciendo entre las 6 y las 11 am y después de las 5 pm, horas que corresponden a las horas de buena receptividad de polen (Boussard B, 1980).

Por el contrario, existe cierto grado de desacuerdo en cuanto al tema de la polinización por hembras y machos. Según Brew (1984), Tanto machos como hembras de ceratopogónidos intervienen en la polinización efectiva. Pero otros autores afirman que las hembras son las más diligentes y los machos intervendrían poco (Winder 1977, 1978; Soria, 1973, 1970; Billes, 1941; Saunders, 1959; Soetardi, 1950).

Por otro lado, también se hace referencia a una atracción diferencial de los sexos debida a los estímulos que usa la planta para llamar a los insectos y a las diferencias en los requerimientos nutricionales que tienen los dos sexos: el alto sesgo relacionado a la atracción de cada sexo, observado para Cecidomidos y Ceratopogónidos, con hembras siendo exclusiva o mayormente atraídas, sugiere una atracción diferencial de los sexos a los aceites florales de *Theobroma*. La naturaleza de esta posible relación es desconocida, pero podría involucrar la obtención de una feromona sexual... también se sabe que existe la alimentación de polen por ceratopogónidos y las hembras podrían obtener nutrientes para sus huevos del polen (Young A, 1988).

El mecanismo que hace que los insectos polinizadores se vean atraídos y lleguen a las flores del cacao, es aún un tema de discusión que requiere estudios más detallados. Muy poco es conocido sobre como los insectos son atraídos a las flores de *Theobroma*, las flores parecen en gran medida sin olor y con poco o sin néctar (Stejskal, 1969 citado por Young, 1988).

Con todo, se han planteado diferentes hipótesis al respecto. Entre las más destacadas se encuentran la atracción por color, estructuras de la flor y por estímulos químicos:

Los nectarios microscópicos en los pedicelos, sépalos, ovarios, líneas guían de los pétalos y estaminodios secretan néctar, el cual tiene olor que atrae varios insectos (McGregor, 1976 citado por Bystrak and Wirth, 1978). Algunos estudios sugieren que las flores poseen fragancia y una recompensa floral producida en las estructuras (Strand, 1984 citado por Young, 1988). En Limón, Costa Rica, se comprobó por vez primera que los aceites florales de *Theobroma* atraen insectos voladores en plantaciones de cacao, incluyendo polinizadores del cacao. Los aceites florales de *T. cacao* y *T. simiarum*, en tres concentraciones (1, 10 y 100 ppm usando solvente de cloroformo), fueron efectivos atrayentes de un rango de

insectos voladores de tamaño pequeño en los bosques de cacao durante la estación seca y lluviosa. Los dípteros, especialmente Cecidomidos, Ceratopogónidos y Phoridos, son los principales insectos atraídos. Estos estudios proveen evidencia sobre el juego de los aceites florales en la atracción de insectos polinizadores a las flores de *Theobroma*, incluyendo el cacao (Young, 1988).

Erickson *et al.*, (1987) encontró que los aceites florales del cultivar de cacao UF-613 consisten principalmente de hidrocarburos saturados e insaturados... indudablemente es la interacción de los diferentes aceites florales la que provee un atrayente para los insectos a las flores de Cacao (Young, 1988).

Ya en la flor, es posible que el insecto prefiera ciertas partes de esta en primer lugar. Kaufmann (1975) menciona que los ceratopogónidos visitan las flores de cacao porque son atraídos por las partes coloridas de la flor, y que ellos prefieren objetos ubicados verticalmente como los estaminodios, a aquellos como las líneas guía. Es por ello que las flores llevan más polen en sus estaminodios que en otro lugar, los pistilos son visitados después.

Si se considera que la polinización se presenta como un fenómeno natural de sensibilidad multidireccional, siendo que los factores que afectan al insecto o su hospedero, influyen sobre la polinización y, en vista de que la polinización natural y las etapas siguientes del desarrollo de la fruta del cacao son dependientes de las densidades de población de las mosquitas polinizadoras en el campo. Se sugiere que el éxito de la productividad del cacaotero en el campo y el mantenimiento de niveles de rendimiento elevado en las empresas agrícolas cacaoteras dependen de la sincronización apropiada entre los ritmos vegetativos (periodos de floración intensa) y poblacionales de los insectos polinizadores (periodos de mayor población de adultos *Forcipomyia*) en el campo (Soria, 1979, 1977).

Por lo tanto, es posible, a través de la protección y reproducción de insectos polinizadores lograr aumentos en los rendimientos de los cacaotales, como consecuencia de una polinización más eficiente (Soria *et al.*, 1980; Young, 1982 citados por Elizondo *et al.*, 1988), para ello es fundamental, un completo conocimiento de la identidad y sitios de crianza de los polinizadores del cacao, lo cual es el paso indispensable en la manipulación de poblaciones para el incremento de los rendimientos del cultivo y es importante en la planeación de aplicación de pesticidas para reducir la mortalidad de polinizadores (Soria y Chapman, 1981).

Estudios realizados han mostrado que existen tendencias a incrementar la fructificación sobre los arboles próximos a las parcelas donde se dispusieron discos de tronco de musáceas (Limón, Costa Rica) (Young, 1983), aunque es importante tener presente que el potencial de incrementar el rendimiento de mazorcas mediante la implementación de medidas agronómicas como la disposición de

vástagos de plátano en el terreno, es mayor en agro ecosistemas más complejos y cercanos a bosques, que en agro ecosistemas homogéneos (Young, 1979).

## **2.5 Biología, Ecología y Etología de los insectos polinizadores del cacao**

### **2.5.1 Influencia de los Factores ambientales sobre los ceratopogónidos**

En áreas tropicales altamente estacionales, los dípteros exhiben ciclos sincronizados de crianza con el cambio de estaciones (Bowden, 1976; IWUALA, 1981; Porter and DeFoliart, 1981 citados por Young, 1983) pero la fluctuación mensual de los niveles de abundancia de dípteros es más difícil de considerar en áreas tropicales con estaciones menos marcadas (Wolda, 1978a, b; Wolda and Galindo, 1981 citados por Young, 1983). Los mosquitos *Forcipomyia* están presentes todo el año en las plantaciones de cacao, pero su número varía entre los meses del año y de año en año (Kaufmann 1975; Soria, 1976; Winder 1977, 1972 citados por Boussard, 1980).

Los factores climáticos principalmente la lluvia, la nebulosidad, el calor, el viento y el equilibrio hídrico del suelo, son primordiales para el desarrollo y la actividad de las poblaciones de Ceratopogónidos (Kaufman 1975; Soria, 1977, 1974 citados por Boussard, 1980).

Un cielo cubierto (Winder, 1977 Citado por Boussard, 1980) o el viento (Glendinning, 1962, 1972 Citado por Boussard, 1980) pueden inhibir la actividad de los polinizadores, para los cuales la altura de vuelo es a menudo entre 6 y 8 metros (Decazy, 1979; Soria, 1976 Citados por Boussard, 1980) y la distancia de vuelo está en el orden de 25 a 70 metros (Decazy, 1979; Massaux, 1976 Citados por Boussard, 1980).

Según Winder (1978) las condiciones climáticas del día y las características de las plantaciones del cacao, que probablemente influyen en el microclima, afectan la cantidad de ceratopogónidos en las flores. Algunas especies prefieren condiciones de sombra y frías, mientras que otras requieren condiciones soleadas y abiertas (Hernández, 1965; Jillison, 1980 citados por Elizondo *et al.*, 1988)

#### **Temperatura:**

Se ha encontrado correlaciones entre la longevidad de las hembras de *Forcipomyia spp.* Y el número de días que precedieron la máxima temperatura del aire (Besemer, 1978), la temperatura (picos) también está correlacionada con la mortalidad de adultos *Forcipomyia spp.* En jaulas individuales de crianza (Besemer, 1978).

La abundancia de ceratopogonidos en Chuao, Venezuela, estuvo asociada a la temperatura en forma negativa, contrario a lo encontrado por Soria (1977b) cuyos resultados posiblemente indiquen la influencia de la temperatura a nivel estacional, mientras que este estudio una influencia a nivel de microhabitat (Narváez, Marín, 1996).

La fluctuación de poblaciones de *Forcipomyia spp.* Esta principalmente determinada por las manifestaciones meteorológicas de calor (Soria, 1979).

### **Precipitación:**

La abundancia de polinizadores dípteros está directamente relacionada con la disponibilidad de agua en el suelo, la humedad relativa y el tipo de régimen pluvial (Soria, 1979). En general las poblaciones son mayores en periodos de precipitación y son menores en periodos de sequía (Kaufman, 1975; Soria 1977, 1974 citados por Boussard, 1980).

Las poblaciones de ceratopogónidos fluctúan mensual y anualmente, pero en general las poblaciones son mayores en la época lluviosa y menores en el periodo seco, debido a los requerimientos de humedad para el crecimiento de los estados inmaduros (Kaufmann, 1974b, c citado por Kaufmann, 1975).

Durante la estación lluviosa, los moscas se expanden, pues cualquier vegetal en descomposición es un sitio de cría, pero en época seca, abandonan los lugares abiertos y recurren a las áreas con sombra (Kaufmann, 1974 b), por tanto en el cacaotal, el número de especies aunque no el número de individuos, es mayor en época seca que durante lluvias (Kaufmann, 1975).

Es preocupante la sincronización o la carencia de ella entre los ciclos de las poblaciones de polinizadores y la fenología de la floración de los árboles de cacao en zonas tropicales fuertemente estacionales, la época seca puede ser un periodo de estrés medioambiental para algunos insectos, resultando en escasos recursos, siendo forzados así a reducir sus poblaciones (Janzen y Schoener, 1968; Wolda, 1978 citados por Young, 1983).

### **2.5.2. Enemigos naturales y Hospederos alternos de ceratopogónidos**

Los principales enemigos naturales reportados para *F. squamipennis* incluyen ácaros, colémbolos, hormigas, dermápteros y quilópodos, los últimos tres son activos depredadores de larvas y pupas. Los colémbolos se alimentan cuando no hay resistencias. Se menciona también a nematodos y Esporozoos como entomoparásitos de ceratopogónidos (Mayer 1934 citado por Kaufmann, 1975).

El acaro trombiculido puede succionar grandes masas de huevos (hasta 80 en 20 minutos), también pueden atacar adultos (Kaufmann, 1975). La mayor parte de los dermápteros o tijeretas tienen hábitos carroñeros, aunque algunas especies son

omnívoras. Pueden alimentarse de insectos de cuerpo blando como pulgones (Urbaneja, 2005 citado por Mavisoy y Cabezas, 2009).

Los himenópteros suelen ser piezas clave en los ecosistemas de todo el mundo. Son un grupo de especies altamente dominadoras del hábitat y con un elevado poder de influencia sobre la comunidad de artrópodos de la zona que habitan; sus hábitos alimenticios depredadores generalistas unidos a su elevada eficiencia como forrajadora y su elevada densidad de población hacen que alteren la composición de la fauna de la zona afectada de forma muy notoria. La fauna endémica de los ecosistemas puede verse afectada entre ellos gasterópodos, arañas, colémbolos, dermápteros, hemípteros, coleópteros, dípteros, himenópteros y lepidópteros. En muestreos específicos para ocho especies de coleópteros endémicos su abundancia fue cinco veces menor en las zonas infestadas por himenópteros (Gómez 2008 citado por Mavisoy y Cabezas, 2009).

Los Chilopodos son carnívoros, depredadores, cazan y matan cualquier animal que se arrastra (insectos, lombrices y moluscos) hasta insectos alados que se posan en el suelo son atrapados y devorados, ya que lo apresan con sus garras venenosas antes de que tenga tiempo de extender sus alas y volar; prefieren lugares húmedos y oscuros, en época de sequía se entierran sobre el suelo (Mendoza, 2001 citado por Mavisoy y Cabezas, 2009).

Las poblaciones de estos animales influyen directamente sobre la abundancia de polinizadores en un cultivo de cacao y por ende en la productividad, aunque debe considerarse que entre más cerrado sea el sistema y mayor sea la complejidad estructural del mismo, las poblaciones de estos artrópodos como las de los polinizadores se pueden mantener en relativo equilibrio sin afectar la supervivencia de ninguno de los dos y sin disminuir o ejercer influencias negativas sobre la productividad del sistema.

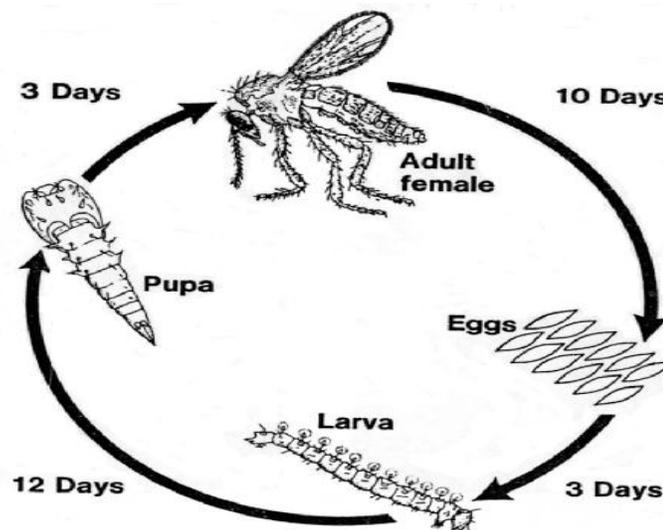
Algunos de los ceratopogónidos polinizadores del cacao son atraídos también por otras plantas como: flores de *Plumbago zeylanica*, *Galphimia glauca*, *Duranta prumieri*, y hojas como *Citrus* y *Alternanthera sp.* La presencia de estas en las plantaciones reduce la cantidad de moscas volando en las flores del cacao (Kaufmann, 1975).

### **2.5.3 Ciclo de vida de los ceratopogónidos**

Los géneros *Forcipomyia*, *Atrichopogon* y *Dasyhelea* tiene metamorfosis completa (huevo, larva, pupa y adulto) (Kaufmann, 1975; Borkent 2008 citados por Mavisoy y Cabezas 2009). El Ciclo de vida de *Forcipomyia* es de 27 (Hernández, 1965) a 28 días a 24 Grados Centígrados. Es un ciclo relativamente corto y ofrece la posibilidad de reproducirse fácilmente con cerca de 12 generaciones por año (Kaufmann, 1975).

Los ceratopogónidos son gregarios toda su vida, desde los huevos hasta el empupe y al inicio de su vida adulta, hasta el apareamiento, solo dejan los enjambres para la ovoposición y la muerte. Este comportamiento favorece su posibilidad del apareamiento, así como disminuye las posibilidades de perecer ante enemigos naturales (Kaufmann, 1975)

**Figura 2.** Ciclo de vida del género *Forcipomyia*



### 2.5.3.1 Larvas y pupas

Se sabe que *Forcipomyia spp.* Pasa el 60 % de su ciclo vital en forma de insecto inmaduro en el suelo húmedo (Soria, 1977). Eclosionan en 2 o 4 días y se transforman en pupas cuando tienen 10 a 19 días y después de tener 4 mudas. El estado pupal dura 2 o 4 días (Dessart, 1961; Kaufman, 1973, 1975; Posnette, 1958; Soria, 1973, 1974, 1978; Winder, 1977, 1978, 1972 citados por Boussard, 1980).

Las larvas de *Forcipomyia squamipennis* recién eclosionadas son de 0.5 mm semi transparentes, crecen hasta 3.5 mm después de 4 mudas, son de hábitos gregarios y viven en medios saturados de oscuridad, ante la luz se dispersan. El periodo larval es de 10 a 15 días a 20-25°C. (Kaufmann, 1975). Las larvas de *Dasyhelea* tienden a ser lentas; tienen un gancho posterior en el abdomen y se mueven lentamente bajo el sustrato donde se encuentran (Borkent, 2008). La Pupa de *F. squamipennis* es de 3.5mm, está en grupos de 3 a 100 o más, en áreas secas, puede tener movimientos vigorosos, dura de 2 a 3 días a 20-25°C (Kaufmann, 1975).

### **Alimentación:**

Las larvas se alimentan principalmente de bacterias (Besemer, 1978), viven de la biomasa de los microorganismos relacionados con la descomposición del material, y no de la biomasa de las mazorcas en descomposición (Besemer, 1978), también de madera en descomposición, tallos de banana, cascara de cacao y otros desechos en estado semilíquido (Kaufmann, 1974). Según Winder y Silva (1972) el alimento de las larvas son hongos, para Saunders (1956) bacterias y levaduras, para Mayer (1934) algas y diatomeas, más que los desechos como tal (Kaufmann, 1974) se alimentan de levaduras, bacterias o hifas de hongos saprofitos (Dessart, 1961; Kaufman, 1973, 1975; Posnette, 1958; Soria, 1973, 1974, 1978; Winder, 1977, 1978, 1972 citados por Boussard, 1980). En laboratorio, las más altas tasas de crecimiento de larvas de *Forcipomyia*, pueden encontrarse alimentándolas con *Pseudomonas sp.* y *Xanthomonas sp.* (1.1 mm/día). Tasas más bajas de crecimiento se observaron en cultivos de *Mucor sp.* El único hongo en el cual pudieron crecer las larvas (Besemer, 1978). Las larvas de *Dasyhelea* se alimentan de detritos y algunas de carroña (de insectos muertos) (Borkent, 2008).

### **2.5.3.2 Adultos**

Tienen una vida máxima de 12 a 16 días para los dos sexos en condiciones naturales, en laboratorio no viven más de 8 días (Kaufmann, 1975). Los ceratopogónidos pueden medir entre < 1 mm a > 3 mm de largo (Kaufmann, 1975). El tórax de *Forcipomyia spp* mide 0.16 mm de ancho y 1.0 mm de largo (Kaufmann, 1975 citado por Ghani, 1987). Los individuos del género *Dasyhelea* tienden a ser pequeños con una longitud de alas menores de 2 mm (Borkent, 2008). Al emerger la hembra de *Forcipomyia squamipennis* tiene 0.08 mm, crece hasta 0.22 mm a las 24 a 36 horas (Kaufmann, 1975).

### **Alimentación:**

Necesitan de una alimentación de fluidos vegetales para sobrevivir. (Dessart 1961; Kaufman 1973, 1975; Posnette 1958; Soria 1973, 1974, 1978; Winder 1977, 1978, 1972 citados por Boussard, 1980). Una fuente adicional de azúcar aparte de la provista por las flores de cacao, es necesaria para la supervivencia de los adultos de *Forcipomyia spp.* (Besemer, 1978). En laboratorio, la más alta longevidad ocurre si las hembras de *Forcipomyia spp.* Son alimentadas con 20 % de sacarosa solamente (Besemer, 1978).

El hecho de que la maduración de los ovarios en la hembra de *F. inornatipennis* alimentadas con soluciones de azúcar solamente, sugiere que esta especie es principalmente un chupador de néctar, aunque no se puede descartar la posibilidad de que sea chupador de sangre (Kaufmann, 1974)

Aunque el mecanismo exacto que atrae a los mosquitos a las flores del cacao es desconocido aun, los estudios de ceratopogónidos muestran que estos visitan una variedad de flores silvestres para obtener carbohidratos (Downes 1958; Magnarelli, 1981 citados por Young, AM. 1983) y quizás otros nutrientes. Para el género *Atrichopogon*, se observan estrategias mezcladas donde machos y hembras visitan las flores por carbohidratos, y las hembras además perforan los granos de polen en busca de proteína (Young, AM. 1983).

Las hembras adultas del género *Dasyhelea* han reducido las partes de su boca y no chupan sangre de vertebrados o invertebrados; sin embargo algunas especies son comunes en flores donde obtienen néctar (Borkent, 2008).

### **El enjambre:**

Enjambres de *F. squamipennis*: ocurre en cualquier hora del día en o por fuera de los lugares de descanso como los huecos de árboles viejos donde se congregan grupos de 12 a más de 90. Normalmente dura pocos minutos y tiene adultos de ambos sexos. A veces conduce al apareamiento (Kaufmann, 1975).

Los enjambres pueden dividirse en dos:

a). Normales: involucra el mayor número de individuos entre las 5 y 8 am, disminuye a máximo al medio día, a las 2 pm comienza a crecer hasta un segundo pico entre las 5 y 6:30 pm, pero esto varía de acuerdo a las condiciones del día y el clima. En días nublados puede extenderse hasta después de las 9 am. En días soleados puede reducirse solo hasta las 6 am, cuando hay lluvias o vientos fuertes no se presenta el enjambre. Los enjambres pueden consistir de 4 a 80 individuos de ambos sexos, volando de 30 a 180 cm sobre el suelo, en todas direcciones dentro de un radio de 100 cm.

b). Enjambres de apareamiento: estos ocurren a cualquier hora del día, pero son mayores en el atardecer entre 5:00 y 6:30 pm. También pueden ocurrir en el amanecer y antes de éste. Un macho puede aparearse hasta con 3 o 4 hembras en un tiempo de 15 minutos. Si el enjambre no tiene más de 4 o 5 parejas, todas ellas permanecen y ovipositan en el mismo sitio de cría y no abandonan su nicho (Kaufmann, 1974).

### **El apareamiento:**

Ocurre en el vuelo durante pocos minutos, los machos buscan activamente a las hembras. Una hembra acoplada puede quedarse o dejar el enjambre para la ovoposición según el tamaño de este, entre más grande sea, más probable será que lo deje (Kaufmann, 1974 b, c), al dejarlo, es a menudo acompañada por el macho. Así el enjambre permite a los machos conseguir compañera y a las hembras ovipositar (Kaufmann, 1975). La copula de *Forcipomyia spp.* Puede tener

lugar en circunstancias de oscuridad y humedad, enseguida de la emergencia (Besemer, 1978).

### **Dispersión:**

La dispersión de los ceratopogónidos ocurre cuando ellos se desplazan en su micro hábitat en todas las direcciones, su rango es de 5 a 6 m por vez, pero pueden avanzar más descansando. Al final pueden encontrar una nueva cueva para entrar, por lo que cambian constantemente dejando un nido para entrar a otro. Esto puede tener importancia a nivel de la genética (Kaufmann, T. 1975).

### **Ovoposición:**

Los huevos son puestos en las hendiduras de materia orgánica en descomposición (tallos de banano, troncos podridos, hojarasca, vainas en descomposición), pues aquí se protegen de la desecación y de sus enemigos (ácaros, colémbolos y hormigas) y de los productos fitosanitarios (Kaufmann 1973, 1975; Soria 1976, 1974; Winder 1977 citados por Boussard B, 1980).

Las hembras de *F. inornatipennis* ponen sus huevos en masas irregulares en desechos orgánicos como troncos de plátano (menos preferido), hojarasca de cacao y en excretas de animales como cabras, vacas y ovejas (el primero que escogen los insectos). La matriz en descomposición para ovoposición requiere ser sombreada y saturada con agua. Las superficies ásperas son preferidas a las suaves. Prefieren siempre el interior que el exterior de las superficies de la hojarasca del cacao, pero incluso prefieren más si hay grietas u hoyos en la hojarasca, es posible que esto ocurra para la protección contra enemigos naturales y porque estos sitios conservan más la humedad. La ovoposición ocurre principalmente entre el alba y las 9 am y de nuevo al atardecer (Kaufmann, T. 1974).

Disecciones de hembras de *Forcipomyia squamipennis* salvajes sugieren que el número total de huevos por hembra es cercano a los 200. La incubación dura de 2 a 3 días a 20 – 25 ° C (Kaufmann, T. 1975).

### **2.5.4 Hábitats de los ceratopogónidos**

En el trópico húmedo en general se encuentran muchos más razas de dípteros en la capa de hojarasca, que en el suelo mismo (Collins, 1979 citado por Young, AM. 1983). 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 (Young, 1982). Winder (1977) sugiere que la actividad polinizadora es un factor limitante y que varios métodos de incrementar las poblaciones de los mosquitos en las fincas de cacao, mediante el incremento de

la disponibilidad de sitios de crianza podría ser una medida para incrementar la producción (Young, AM. 1979).

Las larvas de *Forcipomyia* requieren hábitat fresco, sombreado y húmedo (Dessart 1961; Kaufman 1973, 1975; Posnette 1958; Soria 1973, 1974, 1978; Winder 1977, 1978, 1972 citados por Boussard B, 1980)

Las larvas de *Dasyhelea* son acuáticas y semiacuáticas, viven en pequeños cuerpos de agua así como en epífitas, agujeros de los árboles, en bambúes partidos o dañados, en tallos podridos de banano, cáscaras de frutas y en pequeños cuerpos de agua de piedras cerca de los arroyos y ríos, unos pocos son comunes en pantanos del mangle y salinos, también pueden encontrarse en material vegetal muy húmedo (Borkent, 2008).

Los adultos ceratopogónidos varían en su elección de hábitats; algunas especies son positivamente foto trópica y eligen ambientes soleados, otros son negativamente foto trópicos y viven solo en hábitats oscuros y fríos, mientras hay otros intermedios. En la entomología del cacao, no se debe considerar el grupo positivamente foto trópico, pues ellos rara vez o nunca visitan las flores del cacao. Los medianamente foto trópicos habitan las plantaciones de cacao al menos parte del año y son polinizadores ocasionales. Pero la mayoría de especies importantes son la negativamente foto trópica, pues son habitantes permanentes de las plantaciones donde encuentran todos sus requerimientos ecológicos, los cuales incluyen entre otros (Kaufmann, T. 1975):

**a).** Espaciamiento del cacao (Los insectos requieren espaciamiento del cacao que genere un dosel cerrado para mantener las condiciones de humedad y oscuridad, igual cuidado debe tenerse con la poda) (Kaufmann, T. 1975).

**b).** Clase de árboles de cobertura (los arboles más convenientes son los que tienen grandes contrafuertes como *Piptadeniastrum africanum*, *Triplochiton sclerowylem*, *Chlorophora excelsa*, *Pseudospondias microcarpa* y *Bosqueia angolensis*, si se puede cubiertos por enredaderas como *Culcasia scandence*, los contrafuertes forman nichos profundos en los que llegan las raíces de la epífita, caen hojas, partes de la corteza y ramas rotas para hacer excelentes hábitats por todo el año para especies como *F. squamipennis*, *F. ashantii*, *F. clastrieri*, *F. inornatipennis* y especies de *Atrichopogon* y *Stilobezzia*; y (Kaufmann, T. 1975).

**c)** Clase de arreglo de los substratos del terreno: desechos en descomposición (tallos de árboles, montones de cascara de cacao) permiten lugares de crianza de estados inmaduros, con especies como *F. falcinella*, *F. seneveti*, algunas de *Dasyhelea*. Además de las indicadas para los contrafuertes en los arboles de sombra (Kaufmann, T. 1975).

Hábitat y medios fríos, oscuros y húmedos como las plantaciones de cacao bajo dosel cerrado, gustan a *Forcipomyia squamipennis*, los adultos se encuentran entre los contrafuertes de árboles grandes, en grietas degradadas, huecos con tallos y cascara de cacao en descomposición en Ghana (Kaufmann, T. 1975). Los ceratopogónidos pueden completar su ciclo vital en diferentes tipos de sustratos orgánicos, tales como la hojarasca natural del cacaotal, o en montones de hojarasca creados artificialmente (Young, AM. 1979). Un ambiente boscoso, puede actuar como reservorio para los mosquitos, incrementando la disponibilidad de sustratos adecuados para criaderos (Young, 1979).

Las fitotelmatas son pequeños cuerpos de agua que provienen de secreciones líquidas o precipitaciones y que se reservan temporal o permanente en plantas o partes de ellas como tallos, ejes de hojas, frutos o flores (Maguire 1971; Machado-Allison et al. 1986; Greeney 2001 citados por Ospina *et al.*, 2008).

Las fitotelmas asociadas con cacao (*Calathea sp*, *Musa AAB*, *Vriesea procera*) son fuente continua de una gran variedad de ceratopogónidos, cada tipo de hábitat fitotelma podría contener ciertas especies de ceratopogónidos, resultando en un incremento total de la diversidad de especies potencialmente polinizadoras en las cercanías de las plantaciones del cacao, por tanto son plantas indicadas como hábitats favorables para ceratopogónidos inmaduros. Incrementando la diversidad y abundancia de estas plantas retenedoras de agua podría incrementarse las posibilidades de aumentar las especies de insectos que participan en la polinización, incluso en época seca cuando las tasas de polinización son bajas (Fish y Soria, 1978). En vista de la abundancia de estas plantas en los cacaotales en el neo trópico, realmente merecen más consideración como potenciales hábitats larvales de polinizadores (Fish y Soria, 1978).

### **Musáceas:**

Los troncos de banano pueden ser un importante sitio de crianza de polinizadores (Soria y Chapman, 1981). Todos los censos mostraron preponderancia de larvas y pupas de las mosquitas en los discos de musáceas en descomposición en relación a otros sustratos, con excepción de la última fracción de la época lluviosa donde los estados inmaduros fueron más abundantes en la hojarasca del cacao (Young, 1983). Cerca del 84% de las larvas de las especies *F. youngi* y *F. Quatei* fueron obtenidas de los discos de tallos de musáceas descompuestas y solo 13.8% de la hojarasca de cacao (Young, 1983).

Las densidades de mosquitos polinizadores del cacao son mayores en discos de troncos en descomposición de árboles de plátano, con mayores poblaciones en la época seca en sombra y a libre exposición (Young, 1983). En las plantaciones donde se ha preservado al máximo la selva pluvial, y se ha cubierto el terreno con materiales en descomposición como vástagos de musáceas, el número de mosquitas es 10 veces mayor que en plantaciones donde el ambiente se ha

descuidado (Young, 1982). *Forcipomyia* incrementa su abundancia en fincas de cacao cuando vástagos de musáceas son introducidos como parte de la hojarasca del suelo (Young, 1979). Sería aconsejable que al establecer nuevas plantaciones de cacao, se conserve la vegetación natural y de ser posible se usen vástagos de plátano para aumentar las poblaciones de ceratopogónidos y mejorar la polinización del cacao (Young, 1979). Son necesarios de 2 a 3 meses para permitir que los vástagos frescos de plátano se descompongan y sean adecuados para la colonización por mosquitos y otros organismos. En el transcurso de un año el remplazo de los vástagos debería ser a intervalos de 3 o 4 meses (Young, 1979).

Hay ciertas especies de ceratopogónidos que solamente se desarrollan en estos medios, es el caso de la especie *F (Warmkea) sp*, la cual parece ser restringida a plantas vivas y se desarrolla en las axilas de plátano, mas no en sustratos en descomposición (Fish y Soria, 1978).

Con la introducción de discos de musáceas se observa incremento en supervivencia y crianza durante los periodos secos, permitiendo a algunas especies pasar la época seca y por tanto alcanzar altas poblaciones para el inicio de la época de lluvias (Young, 1983). Esta práctica en regiones estacionales del trópico del nuevo y el viejo mundo representa una prometedora posibilidad de manejar las poblaciones de polinizadores en el cacao durante la estación seca y de incrementar la probabilidad de sincronizar en algún grado, las poblaciones de polinizadores con los ciclos de floración del cacao (Young, 1983).

La producción de mosquitos en las fincas de cacao adyacentes a bosques naturales puede ser incrementada más de seis veces en tallos de musáceas en descomposición que en montones de hojarasca natural.

Posiblemente las características de contenido de fibras, porcentaje de humedad y otras asociadas a la rapidez con que se pudre el material vegetal en el suelo, son la causa de que las musáceas Pelipita, Guineo Rojo, Gros Michel hayan sido más eficientes como sitios de ovoposición (presentaron el mayor número de larvas de *Forcipomyia* por vástago tanto en sol como en sombra). Como sombra provisional del cacao es más recomendable utilizar musáceas que se descomponen más fácilmente (Plátano Curraré, Pelipita, Gros Michel) que las de lenta descomposición (Saba, Guineo Rojo) (Elizondo *et al.*, 1988).

### **Bromeliáceas y otras retenedoras de agua:**

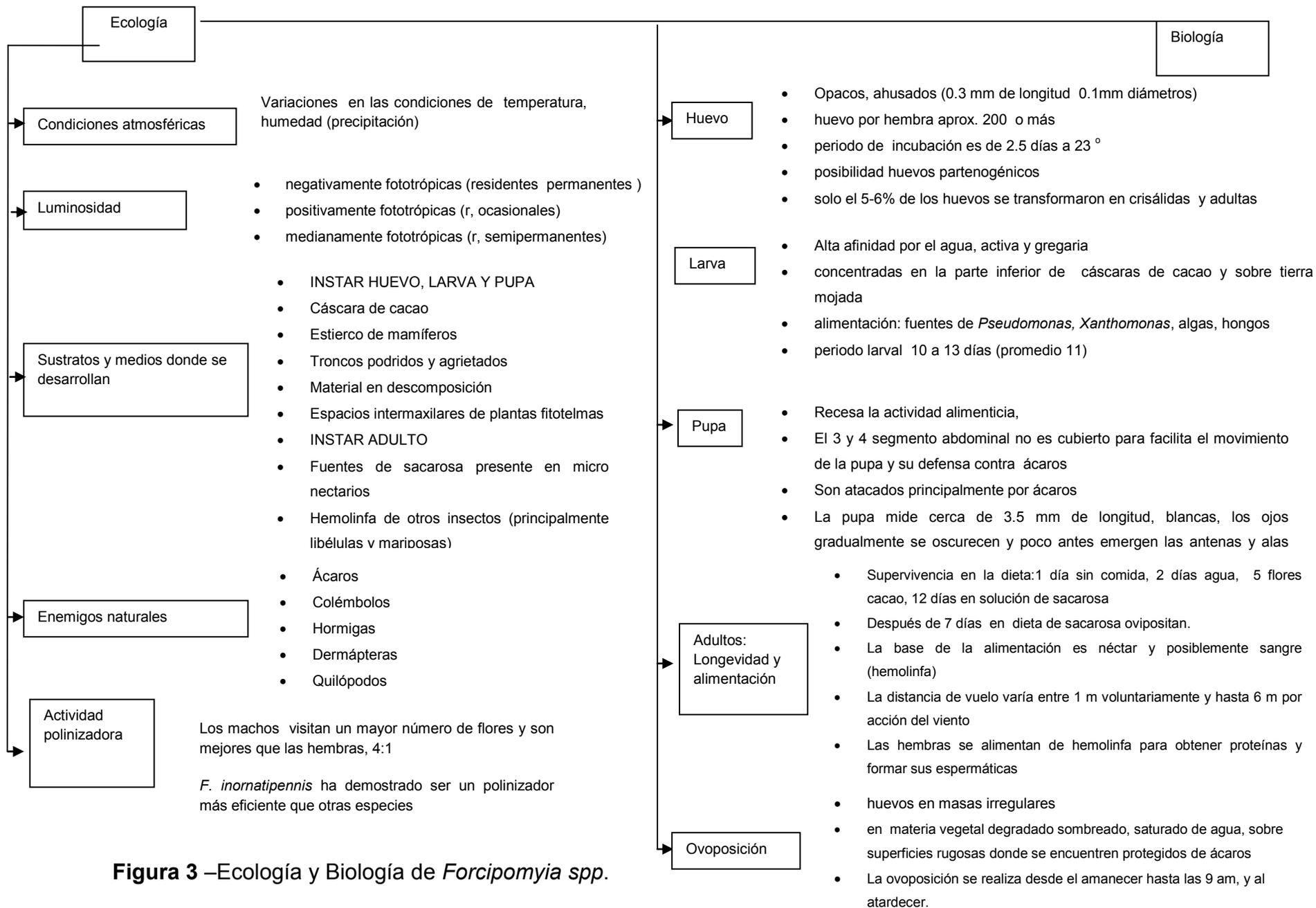
En el caso de las bromelias la formación de estanques se ve facilitada por la disposición de sus hojas en roseta, lo cual permite la reserva agua y detritus (Benzing 1990 citado por Ospina *et al.*, 2008).

La cantidad de agua y hojarasca que intercepta la bromelia varía con la forma y el tamaño de la planta, así a mayor tamaño de la roseta mayor es la capacidad para

recibir el agua proveniente de la lluvia y la hojarasca del dosel (Benzing 1990; Richardson 1999; Zotz y Vera 1999; Ospina-Bautista *et al.*, 2004 citados por Ospina *et al.*, 2008). Lo anterior, implica más espacio para colonización y recursos más diversos (Lawton 1986; Yanoviak 2001 citados por Ospina *et al.*, 2008) esto influye en la abundancia, riqueza y diversidad de invertebrados asociados a las bromelias (Richardson 1999; Yanoviak 1999a, b citados por Ospina *et al.*, 2008).

Los ceratopogónidos no son la excepción: por los menos 16 especies de ceratopogónidos, incluyendo *Forcipomyia* se han colectado de un total de 11 bromelias epifitas (Winder 1972, 1977 citado por Fish y Soria, 1978). Sin embargo debe ser considerado el hecho de que las plantas bromeliáceas son una fuente potencial de insectos de importancia medica tales como el mosquito de la malaria (Fish y Soria, 1978), esto debe ser tenido en cuenta en el manejo de las poblaciones de estas plantas en las plantaciones de cacao, puesto que podrían representar problemas de salubridad para los agricultores y sus familias.

A continuación se presenta como síntesis una descripción conceptual de la biología, ecología y los atributos clave que inciden en el comportamiento de *Forcipomyia* se representa (Figura 3 y cuadro 2 tomado de Mavisoy y Cabezas, 2009).



**Figura 3 –Ecología y Biología de *Forcipomyia* spp.**

**Cuadro 2** - Atributos claves en la biología y ecología de *Forcipomyia sp*

ESCALA	FACTOR	DESCRIPCION
MICRO HÁBITAT (sustratos)	Temperatura	Los insectos al ser organismos poiquiloterms, depende de la temperatura externa para llevar a cabo sus reacciones bioquímicas (Soria, 1977)
	Humedad	60% ciclo vida de <i>Forcipomyia</i> ocurre en condiciones húmedas o semiacuáticas
	Enemigos naturales	Han sido reportados:  Dermápteras, hormigas y quilópodos (predadores activos de larvas y pupas); Colémbolos (se alimentan solo si las larvas y pupas no oponen resistencia); Ácaros Trombiculidos, son los más agresivos al succionar lotes de huevos 80 huevos en 20 minutos); Los nematodos son entomoparásitos de los Ceratopogónidos; Quilópodos: depredadores activos de huevos y pupas (Kaufmann, 1975)
	Abundancia de sustratos	La materia orgánica en descomposición es el hábitat requerido para la ovoposición, permanencia de huevos y desarrollo de las larvas.  Las condiciones semiacuáticas son preferidas para la ovoposición, por lo cual prefieren superficies rugosas y cavidades donde encuentren condiciones de humedad apropiadas y protección.

	Medios de alimentación presentes en los sustratos	<p>Disponibilidad de alimento. Variable de más importancia en la determinación de calidad del hábitat para muchas especies. Conviene destacar que lo que importa para los animales no es la abundancia de alimento sino la disponibilidad y la capacidad de las especies para explotar esos recursos. Las posibles fuentes de alimentación en el estado larvario son las bacterias <i>Pseudomonas</i> y <i>Xanthomonas</i>, y algunos hongos como <i>Mucor sp</i> (aunque causa una menor tasa de crecimiento) (Besemer H, Soria S)</p> <p>Para el adulto es necesario la presencia de otros insectos que provean hemolinfa para hembras y fuentes de néctar (en micro nectararios) para adultos machos.</p>
MESO HÁBITAT (dosel de cacao y suelo)	Humedad relativa	Su efecto sobre las poblaciones de insectos se da por la optimización del medio ambiente para su reproducción.
	Estructura	Espaciamiento del cultivo: determina la intensidad de luz que entra sobre el estrato del suelo y la circulación de aire por debajo del dosel intermedio.
	Composición	Existen especies de importancia para el albergue de huevos y pupas de <i>Forcipomyia</i> tales como <i>Fitotelmas</i> , <i>Marantaceas</i> , y <i>Bromeliáceas</i> principalmente, también se podrían encontrar hospederos alternos para el estado adulto, además que podrían competir con las flores de cacao.
	Floración	Los ritmos de floración y población de insectos polinizadores están asociados por los mismos factores climáticos que los insectos y las plantas. La polinización se presenta como un fenómeno natural de sensibilidad multidireccional siendo que los

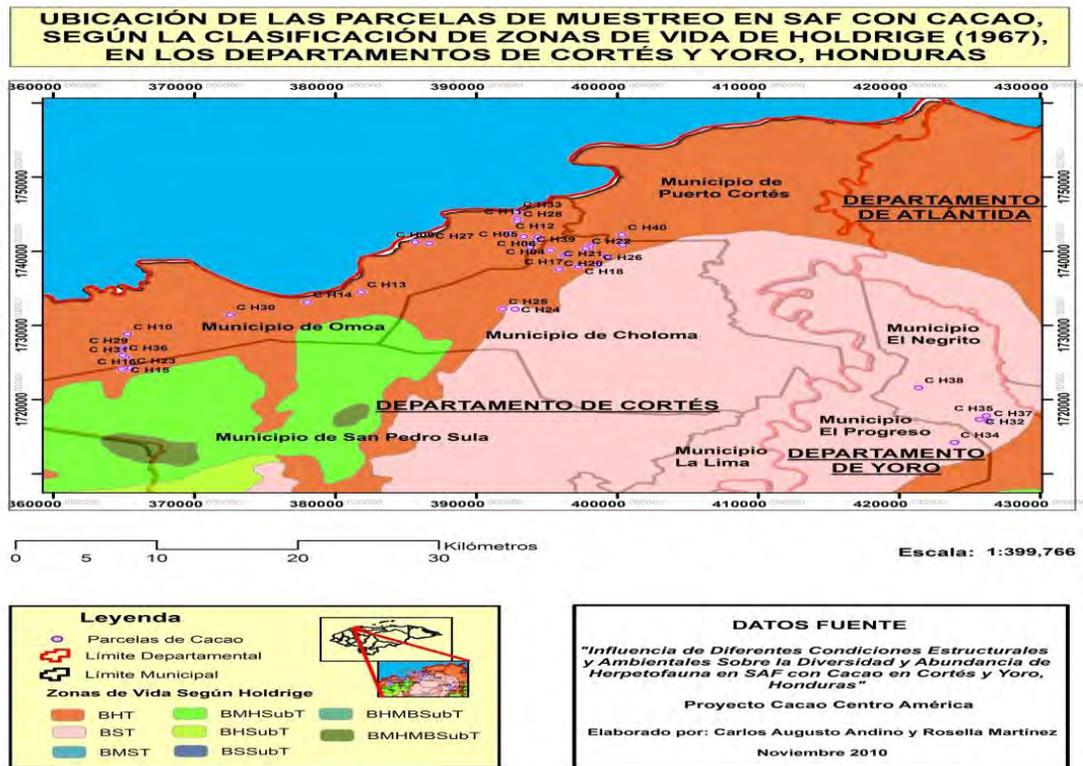
		<p>factores que afectan al hospedero y al insecto influyen en la polinización.</p> <p>Un manejo que considere un sincronismo de los ritmos de vegetación y la población de los insectos polinizadores es indispensable para garantizar una producción deseable.</p>
<p>MACRO HÁBITAT (Agro ecosistema)</p>	<p>Estructura</p>	<p>Tomado como el arreglo espacial de los componentes del sistema y su arreglo entre los componentes:</p> <p>Altura de los doseles</p> <p>Porcentaje de sombra</p> <p>Densidad de la población del componente arbóreo</p>
	<p>Composición</p>	<p>Determina la diversidad y calidad de los sustratos.</p> <p>Es un modificador de las condiciones del micro hábitat (Temperatura y humedad) principalmente.</p>
	<p>Características del área circundante</p>	<p>Formaciones vegetales alrededor del área del agro ecosistema (cultivos aledaños, plantaciones y otros usos de la tierra con diferentes manejos que pueden afectar el comportamiento de las poblaciones de insectos.</p>

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

##### 3.1.1 Localización

El estudio se realizó en diferentes comunidades de los municipios de Omoa, Puerto Cortés y Choloma, en el Departamento de Cortés, y en el municipio de El Negrito, en el Departamento de Yoro en la zona nor-occidental de Honduras (Figura 4). Las parcelas están ubicadas entre las latitudes N 15° 30' 15.40" y N 15° 47' 02.60", y entre las longitudes W 87° 41' 15.10" y W 88° 15' 38.82". El clima es cálido y húmedo en las costas (temperatura media 31°C), más templado en la zona montañosa y la humedad relativa entre 70 y 90% durante casi todo el año. Se distinguen dos estaciones: una lluviosa de junio a Octubre y una seca de noviembre a mayo.



**Figura 4:** Ubicación de las parcelas de muestreo en SAF con cacao en los Departamentos de Cortes y Yoro, Honduras.

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Selección del área de estudio

El Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) en Honduras, abarca un área de estudio conformada por los municipios de Omoa, Choloma y Puerto Cortés en el Departamento de Cortés y El Negrito en el Departamento de Yoro. El presente estudio, se llevó a cabo en 4 sistemas naturales (Bosques) y en la red de 37 parcelas establecidas 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.

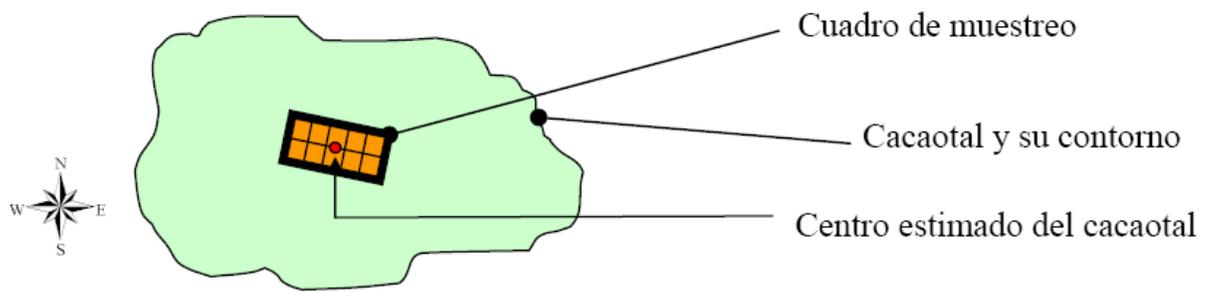
Los criterios utilizados por Avelino y Deheuvels (2008) para el muestreo fueron:

- a).** Dos rangos altitudinales (Zona de llano aluvial, a menos de 200 m de altitud y Zona de pie de montaña, a más de 300 m de altitud);
- b).** Dos condiciones de macro-paisaje (Paisaje abierto con cobertura boscosa escasa y/o esparcida y Paisaje cerrado con cobertura boscosa densa y/o continua);
- C.** Tres condiciones ambientales a nivel del micro-paisaje (Fragmentado, Poco fragmentado, No fragmentado)

Los principios de muestreo fueron:

- 1).** El muestreo debe permitir la observación de un amplio rango de poblaciones que forman parte de la Biodiversidad;
- 2).** Cubrir una gran variedad de sistemas de cultivo;
- 3).** Conservar independencia de las variables estudiadas. Los sistemas de cultivo del cacao fueron escogidos dentro de cada uno de los sitios de muestreo procurando buscar la mayor variedad posible de estructura vegetal. De un sitio de muestreo al otro, los sistemas de cultivo escogidos son diferentes. No se buscó representatividad sino más bien los contrastes más fuertes posible entre sistemas (Avelino y Deheuvels, 2008).

El proceso de muestreo dentro de cada cacaotal utilizado fue el siguiente: En cada cacaotal se midió un cuadro de muestreo cerca del centro del cacaotal para evitar efectos de borde. El centro fue ubicado al ojo y geo referenciado. Por este centro, se trazó una recta de 50 m (línea de división central del cuadro de muestreo) (Figura 5). El cuadro de muestreo con un tamaño de 50 x 20 m (1000 m<sup>2</sup>). Se dividió en 10 sub-parcelitas o celdas de 10 m x 10 m. (Avelino y Deheuvels, 2008) (Figura 6).



**Figura 5** – Diseño del proceso de muestreo en cada cacaotal, con creación de un cuadro de muestreo dividido en 10 celdas. (Avelino y Deheuvels, 2008).

Celda A1	Celda A2	Celda A3	Celda A4	Celda A5
Celda B5	Celda B4	Celda B3	Celda B2	Celda B1

**Figura 6** – División del cuadro de muestreo en 10 celdas identificadas con códigos. (Avelino y Deheuvels 2008)

Dentro de cada una de las parcelas se realizaron los muestreos para los estudios de caracterización de hábitats para fauna y flora de origen silvestre en cuadros de muestreo para Anfibios y reptiles, Plantas epífitas y los Insectos del bosque tropical húmedo, con énfasis en especies polinizadoras del cacao.

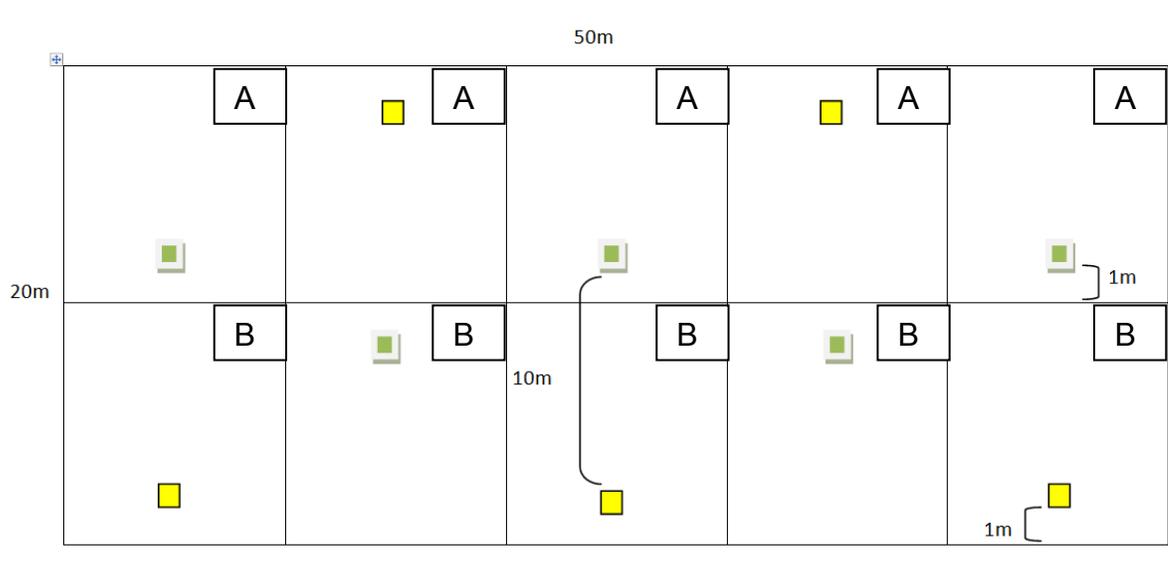
### 3.2.2 Descripción de puntos de muestreo y recolección de sustratos

Las muestras se tomaron bajo las condiciones de la parcela, con el fin de que los sustratos presenten las condiciones naturales reales de campo.

En cada periodo de evaluación y dentro de cada una de las 37 parcelas de estudio (20 x 50m = 1000 m<sup>2</sup>) de los sistemas agroforestales de cacao, se tomaron 2 muestras de sustrato (hojarasca del suelo), cada una conformada por 5 sub-muestras (marcos de 25 x 25 cm<sup>2</sup>) distribuidas en puntos específicos de la parcela, para un total de 10 sub-muestras por cada parcela.

La muestra uno (1) corresponde a la mezcla de 5 sub-muestras distribuidas a través de la parcela, estas estuvieron distanciadas al menos 10 metros de los demás puntos de muestreo. La muestra dos (2) corresponde a la mezcla de las 5 sub-

muestras ubicadas a 1 metro de distancia de los puntos de muestreo de hojarasca utilizados para el estudio de macro fauna (Figura 7).



■ **Muestra 1:** Muestra combinada de la hojarasca del dosel de sombra representativa de la parcela

■ **Muestra 2:** Muestra combinada de la hojarasca del dosel de sombra cercanos a la muestra de macro fauna

**Figura 7** – Esquema de distribución de muestreo en parcelas de 20 x 50 m.

En campo, cada muestra fue pesada y guardada en una bolsa de papel, que se trasladó hasta el laboratorio en San Pedro Sula, donde se tomó un volumen de 4,5 litros, (el cual se pesó para conocer el porcentaje que este representa de la muestra total), que se colocó en cajas de emergencia.

### **3.2.3 Determinación de la abundancia y diversidad de adultos de los géneros *Forcipomyia*, *Atrichopogon* y *Dasyhelea* (Díptera, Ceratopogonidae).**

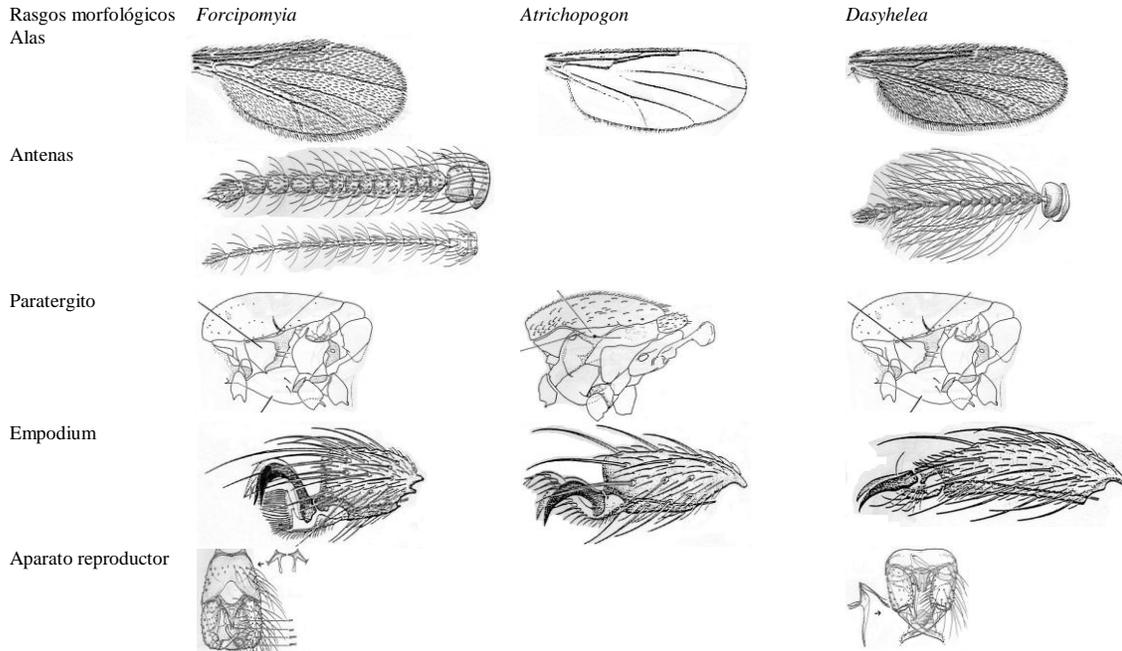
Se realizó incubación de insectos y captura bajo condiciones controladas en cajas de emergencia mejoradas (Mavisoy y Cabezas, 2009). Los sustratos recolectados se depositaron en cajas de plástico (33 x 20 x 12 cm), las cajas tienen en el centro de la parte superior (tapa) una abertura de 12 cm diámetro cubierta con tela de agujero fino color café para permitir la entrada de luz, humedad y aireación, también contiene un tubo plástico de 10 cm de largo por 2 cm de diámetro dentro de la cual se adicionan 4 ml de solución de sacarosa al 20% como trampa de atracción y captura de insectos adultos (Figura 8). Se realizó este proceso durante un periodo de 30 días, cada trampa fue revisada diariamente, los insectos capturados fueron preservados en tubos de ensayo con alcohol al 70%, para posteriormente ser clasificados taxonómicamente, se conservará los insectos identificados dentro de los

géneros *Forcipomyia*, *Atrichopogon* y *Dasyhelea* (Díptera, Ceratopogonidae) polinizadores de cacao, al igual que los insectos adultos no polinizadores.



**Figura 8** – Trampas de emergencia de ceratopogónidos

Para la identificación de insectos adultos se siguió la clave taxonómica de insectos de la familia Ceratopogonidae desarrollada por Borkent (INBio, 2008). Las principales características morfológicas que diferencian a los tres géneros se presentan (Figura 9):



**Figura 9** – Rasgos morfológicos de adultos de 3 géneros de Ceratopogónidos

### 3.3 Época de evaluación

La evaluación se realizó al inicio de la época de verano (Enero), la cual coincide con la época de poca floración del cacao en Cortes y Yoro. Esta época de evaluación fue seleccionada con el fin de estimar si la disponibilidad de poca lluvia es determinante tanto en el desarrollo de las poblaciones del insecto como en la elección de los mismos a los sustratos disponibles. También se escogió, teniendo en cuenta que la época de menor floración conllevará a la época de mayor cosecha al final del año, por tanto es imprescindible conocer la abundancia de las poblaciones de polinizadores que están presentes durante esta época.

### 3.4 Variables de estudio

El género *Forcipomyia* presenta características como sensibilidad y movimiento por la luz (fototropismo), naturaleza poiquilotérmica, necesidad de condiciones húmedas para el desarrollo de su ciclo de vida y depredación por otros insectos (Mavisoy y Cabezas 2009). En el presente estudio se determinaron las variables de las poblaciones y se correlacionaron con las variables vegetación, macro fauna, sustratos orgánicos y productividad en cada parcela.

#### **Variables de poblaciones de polinizadores:**

- Abundancia de insectos polinizadores: (según la metodología explicada en el numeral 3.2.4)
- Riqueza de insectos polinizadores

#### **Otras variables:**

- Diversidad de especies del dosel de cada parcela
- Composición botánica de la hojarasca del suelo
- Abundancia y riqueza de macro fauna y enemigos naturales de ceratopogónidos
- Factores agro climatológicos (temperatura, humedad, precipitación, radiación y brillo solar)
- Productividad

### 3.5 Análisis estadístico

Se realizó un análisis multivariado para la conformación de clústeres o conglomerados. Se describieron todo tipo de características y similitudes dentro de cada clúster. Con los clústeres obtenidos se realizó un análisis univariado de varianza (Anova) contrastando cada clúster con cada una de las variables del estudio para cada parcela. También se realizó un análisis multivariado de varianza (Manova) incluyendo todos los clústeres obtenidos y todas las variables del estudio. Asimismo se realizaron análisis de correlación y de regresión lineal para establecer los grados de asociación y dependencia entre las variables.

Finalmente se establecieron las siguientes correlaciones mediante un análisis de Redundancia canónica:

- Abundancia y riqueza de polinizadores con diversidad y abundancia de especies del dosel de sombra.
- Abundancia y riqueza de polinizadores con la composición botánica de la hojarasca.
- Abundancia y riqueza de polinizadores con productividad.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Abundancia de Dípteros polinizadores (Géneros: *Forcipomyia*, *Dasyhelea* y *Atrichopogon*)

De las treinta y siete parcelas de cacao que fueron muestreadas solamente en 2 no se encontraron insectos polinizadores. En donde el género *Forcipomyia* fue encontrado con mayor frecuencia, seguido de *Atrichopogon* y *Dasyhelea*. En todas las parcelas evaluadas se encontraron que en 9 parcelas estaban los 3 géneros de polinizadores juntos, sin embargo se pudieron encontrar 2 géneros juntos en 9 parcelas de los cuales *Forcipomyia* fue el que más compartió con las otras 2 especies (*Dasyhelea* y *Atrichopogon*) (Cuadro 3).

La abundancia de los géneros de polinizadores en los 35 cacaotales es muy variable, ya que es posible encontrar desde un mínimo de 3.45 polinizadores por metro cuadrado hasta un máximo de 231.45. Sin embargo de los resultados se infiere que la abundancia de los insectos polinizadores en estas parcelas se encuentran en un rango de 35700 a 2314600 polinizadores por Ha. En el caso de la media, la más alta por metro cuadrado a nivel de género la presenta *Forcipomyia* (Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Numero de parcelas con presencia de cada uno de los 3 géneros de polinizadores

<b>GENEROS</b>	<b>Nº de parcelas con Polinizadores</b>
<i>Forcipomyia</i>	17
<i>Dasyhelea</i>	0
<i>Atrichopogon</i>	0
<i>Dasyhelea – Forcipomyia</i>	5
<i>Atrichopogon – Forcipomyia</i>	4
<i>Atrichopogon – Dasyhelea</i>	0
<i>Dasyhelea - Forcipomyia - Atrichopogon</i>	9
<b>TOTAL</b>	<b>35</b>

**Cuadro 4.** Medidas resumen de la abundancia de insectos polinizadores

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>CV</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>Mediana</b>
<i>Atrichopogon/m<sup>2</sup></i>	35	5.06	10.08	199.31	0	44.26	0
<i>Dasyhelea/m<sup>2</sup></i>	35	4.82	9.89	205.3	0	45.1	0
<i>Forcipomyia/m<sup>2</sup></i>	35	31.57	44.31	140.35	3.57	231.46	11.68
<b>Total Pol/m<sup>2</sup></b>	<b>35</b>	<b>41.44</b>	<b>54.07</b>	<b>130.47</b>	<b>3.57</b>	<b>231.46</b>	<b>15.76</b>

## 4.2 Influencia del contexto local de los SAF de cacao sobre la abundancia de polinizadores.

### 4.2.1 Pendiente, Riqueza de Especies, Densidad de Frutales y Medicinales

El tipo de relieve, la pendiente, riqueza de especies, densidad de frutales y medicinales, mostraron una relación significativa sobre el total de insectos polinizadores, la ubicación de las parcelas con pendiente con el total de polinizadores fue positiva, es decir que las poblaciones de insectos polinizadores son más abundantes en parcelas con pendientes para los géneros *Atrichopogon* y *Dasyhelea*. Igual sucedió para las variables de riqueza de especies y densidad de frutales y medicinales para ambas especies.

Para el género *Forcipomyia* no se encontró ninguna influencia en cuanto a la condición de relieve, donde se encuentra sembrado el cacao. Asimismo para la pendiente, riqueza de especies y densidad de frutales y medicinales de este género (Cuadro 5).

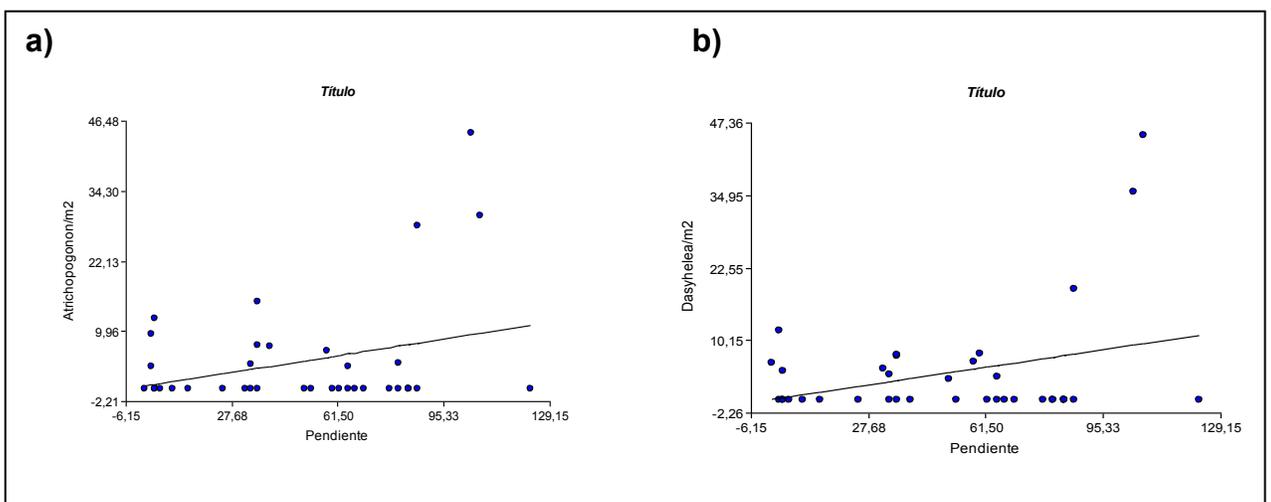
**Cuadro 5.** Variables que mostraron relación con el insecto polinizador *Atrichopogon* y *Dasyhelea* en Cortes, Honduras

Variable dependiente	Variable	Relación	Valor <i>p</i>
<i>Atrichopogon</i> /m <sup>2</sup>	Pendiente	+	0,07
	Riqueza de especies	+	0,06
	Densidad de Frutales y medicinales	+	0,01

Variable dependiente	Variable	Relación	Valor <i>p</i>
<i>Dasyhelea</i> /m <sup>2</sup>	Pendiente	+	0,05
	Riqueza de especies	+	0,03
	Densidad de Frutales y medicinales	+	0,0004

Analizando los resultados se encontró relación estadística significativa del porcentaje de la pendiente, con el total de insectos polinizadores y a nivel de género para *Atrichopogon* y *Dasyhelea*. La relación fue positiva, es decir que a una pendiente un poco manifestada mayor abundancia de insectos polinizadores, pero si tenemos una pendiente bien manifestada la cantidad de insectos va a ir disminuyendo para estos dos géneros (Figura 10a y b).

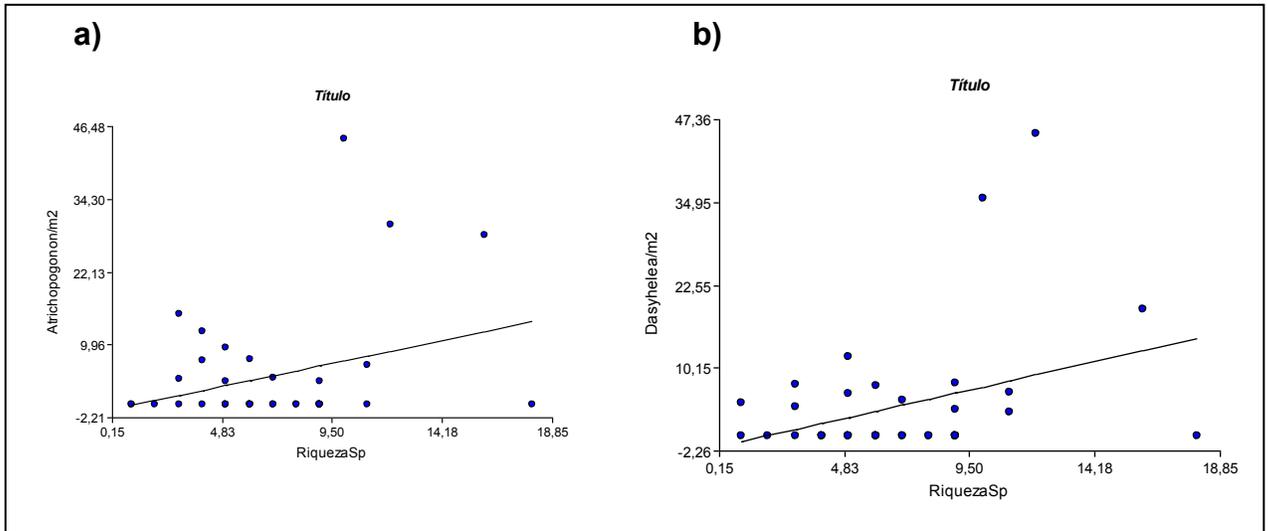
Para el género *Forcipomyia* no se encontró relación con el porcentaje de la pendiente de los cacaotales.



**Figura 10.** Regresión entre la abundancia de *Atrichopogon* y *Dasyhelea*/m<sup>2</sup> respecto a la pendiente del terreno.

Se encontró relación estadísticamente significativa con la cantidad de riqueza de especies en los cacaotales con el total de insectos polinizadores y a nivel de géneros para *Atrichopogon* y *Dasyhelea*. La relación ha sido positiva, es decir que ha mayor cantidad de riqueza de especies que se encuentren en el dosel mayor cantidad de insectos polinizadores (Figura 11a y b).

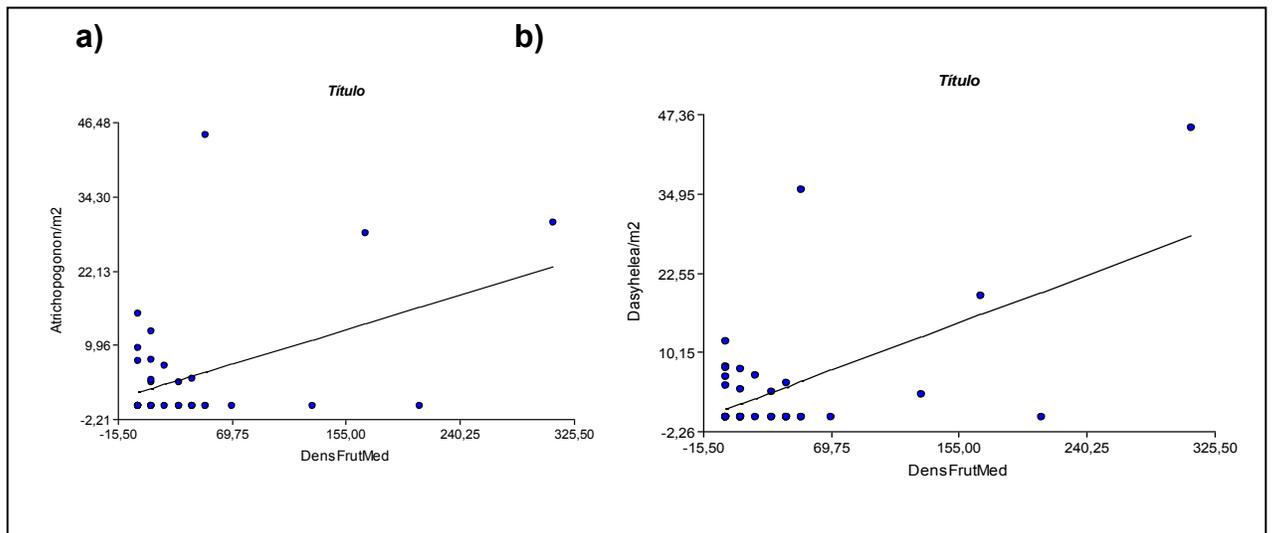
Con respecto al género *Forcipomyia* no se encontró una relación con la cantidad de riqueza de especies que hay en los cacaotales. Ya que este género lo encontramos en la todas las parcelas estudiadas.



**Figura 11.** Regresión entre la abundancia de *Atrichopogon* y *Dasyhelea*/m<sup>2</sup> respecto a la riqueza de especies en el dosel.

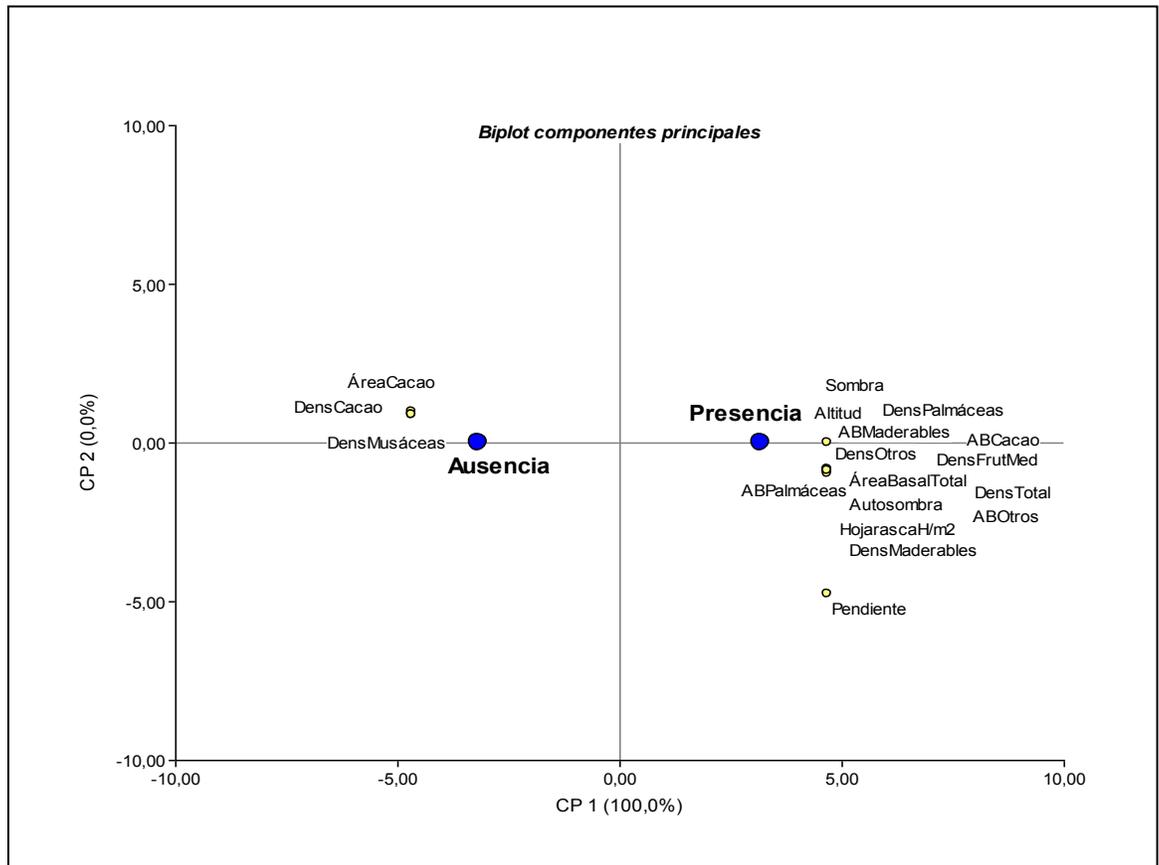
Se encontró relación estadística significativa del porcentaje de Densidad de Frutales y Medicinales existente en los cacaotales con el total de los insectos polinizadores a nivel de los géneros *Atrichopogon* y *Dasyhelea*. La relación fue positiva, es decir que a mayor Densidad de Frutales y Medicinales mayor abundancia de insectos polinizadores (Figura 12a y b).

Con respecto al género *Forcipomyia* no se encontró relación alguna con la Densidad de Frutales y Medicinales existentes en el cacaotal.



**Figura 12.** Regresión entre la abundancia de *Atrichopogon* y *Dasyhelea*/m<sup>2</sup> respecto a la Densidad de Frutales y Medicinales en el cacaotal.

Se realizó el análisis de componentes principales para determinar las variables que más inciden en la presencia o ausencia de los insectos polinizadores en los sistemas agroforestales con cacao en los Departamentos de Cortes y Yoro. Se determinó que 15 variables Sombra, Altitud, Densidad de Palmáceas, Área Basal de Maderables, Área Basal de Cacao, Área Basal Total, Densidad de Otros, Densidad de Frutales y Medicinales, Área Basal de Palmáceas, Auto sombra, Densidad Total, Área Basal Otros, Hojarasca Humedad/m<sup>2</sup>, Densidad de Maderables y la Pendiente, de las 31 variables analizadas están asociadas con la presencia de insectos polinizadores, mientras que tres variables Área de Cacao, Densidad de Cacao, Densidad de Musáceas son las que están asociadas con la ausencia de insectos polinizadores en los cacaotales (Figura 13).



**Figura 13.** Variables relacionadas con la presencia y ausencia de insectos polinizadores en SAF de cacao en el Departamento de Cortes, Honduras.

## 5. CONCLUSIONES

- ✓ De las 37 parcelas de SAF de cacao estudiadas en el Departamento de Cortes en 35 parcelas presentaron presencia de insectos polinizadores.
- ✓ El género *Forcipomyia* fue el más abundante en todas las parcelas en relación con los otros géneros *Dasyhelea* y *Atrichopogon* que se encontraron en menor abundancia.
- ✓ El estudio demostró que la pendiente del terreno, la Riqueza de Especies y la Densidad de Especies Frutales y Medicinales presentan una relación positiva con la abundancia de insectos polinizadores en los géneros *Dasyhelea* y *Atrichopogon*.
- ✓ Se determinó que el género *Forcipomyia* está presente en la mayoría de las parcelas estudiadas, con una abundancia relativamente alta con respecto a los insectos de los géneros *Dasyhelea* y *Atrichopogon*.
- ✓ No se encontró relación entre las variables estudiadas y la presencia o abundancia de *Forcipomyia*, Ya que este género lo encontramos en todas las parcelas estudiadas.

## 6. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda mantener y/o mejorar, y proteger el área del cacaotal con suficiente hojarasca y resto de frutas en descomposición de los SAF de cacao ya que estos son utilizados por los insectos (*Atrichopogon*, *Forcipomyia* y *Dasyhelea*) como sitios de criaderos, dado que éstas les proporcionan las condiciones necesarias de micro hábitat para su reproducción y asimismo la propagación de estos.
- ✓ Si se quiere aumentar la población de insectos polinizadores y esto para aumentar la producción de cacao se debe de considerar la recomendación anterior, además de otra recomendación como repartir trozos de pseudotallos de musáceas por toda el área del cacaotal. Pero para que esto funcione debe de estar acompañado de otras prácticas como la regulación de sombras, control de las enfermedades, ya que la abundancia de los insectos polinizadores no se da por si sola.
- ✓ Comunicarles a los técnicos asimismo a los productores, el efecto que tiene el uso de químicos en las parcelas de cacao, ya que la utilización de estos inhiben la presencia de los insectos polinizadores.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

ALLEN - WARDELL, G. et al. (1998). The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology* 12:8-17.

AVELINO, DEHEUVELS. 2008. Caracterización de diferentes dominios agroecológicos para enfermedades, productividad y biodiversidad, proyecto cacao Centroamérica (PCC), CATIE-Turrialba Costa Rica

BUCHMANN & NABHAN. 1996 citados por Chacoff, 2006. Services Provided by Pollinators. In: *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*, Chapter 8, G. Daily (ed.), Island Press, Pp. 133-150.

BORKENT Art, 2008: The Ceratopogonidae of Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad INBio.2008

CHACOFF, Natacha. 2006. Los ecosistemas naturales como fuente de polinizadores para *Citrus paradisi* en el piedemonte de las yungas". Tesis Ph.D. Tucuman. Universidad Nacional del Comahue. 168 p.

CONABIO, 2008. *Theobroma cacao* L. Sterculiaceae (en línea). México, DF. Publicado en: *Species Plantarum* 2: 782. 1753. Consultado 29 mar. 2011. Disponible en. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/68-sterc03m.pdf)

CONSTANZA, D'ARGE R, GROOT RD, FARBER S, GRASSO M, HANNON B, LIMBURG K, O'NEILL RV, PARUELO J, RASKIN RG, SUTTON P, VAN DER BELT M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.

CSPNA (Committee on the Status of Pollinators in North America, National Research Council). 2007. Status of pollinators in North America. Washington, US. The National Academies Press. 326 p.

DUBOIS, Anthony. 2007. Producción agrícola y conservación de la biodiversidad: ¿dos actividades compatibles?. El caso de los sistemas agroforestales con cacao en Talamanca - Costa Rica. Tesis MSc. Universidad de Lyon, Francia. 71 p.

EI-HAGE Scialabba, N; Hattam, C. 2003. *Agricultura Orgánica, Ambiente y Seguridad Alimentaria*. Roma, IT. Colección FAO: Ambiente y Recursos Naturales N° 4. 262p.

- ENRIQUEZ, Gustavo. 2009. Tecnología, Botánica del cacao (en línea). Ministerio de Agricultura y Ganadería, Sabana Sur, San José, CR. Consultado 5 abr. 2011. Disponible en <http://www.infoagro.go.cr/Agricola/tecnologia/cacao/botanica.htm>
- FAO 2008: Polinización, un servicio del ecosistema. Consultado el 1 de Mayo de 2011. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0112e/i0112e06.pdf>
- FISH Durland, SORIA Saulo. 1978 Water-holding (fitotelma) as larval habitats for ceratopogonid pollinators of cacao in Bahia, Brazil. Revista Theobroma (Brasil) Vol 8, pg. 133-146
- FAO, 2008. Polinización un servicio del ecosistema (en línea). Consultado 15 mar. 2011. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0112s/i0112s06.pdf>
- FONDEP-INFOR. 2009. Modelos agroforestales (en línea). Chile, Sistema de Gestión Forestal. Consultado 20 mar. 2011. Disponible en [http://www.infor.cl/webinfor/pw-sistemagestion/pt\\_02/agroforesteria/modelos%20agroforestales/modelos%20agroforestales.htm](http://www.infor.cl/webinfor/pw-sistemagestion/pt_02/agroforesteria/modelos%20agroforestales/modelos%20agroforestales.htm)
- GOITIA, Fernando 1992. Estructura de la flor de cacao.
- GÖTS Shoroth, HARVEY Celia. 2007. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. Biodiversity and Conservation. Ed Springer Vol 16 (8)
- GREENBERG, R. 1998. Biodiversity in the Cacao Agroecosystem: Shade Management and Landscape Considerations (en línea). Consultado en 15 de Mayo. 2011. Disponible en <http://nationalzoo.si.edu/ConservationAndScience/MigratoryBirds/Research/Cacao/greenberg.cfm>
- HARVEY CA, Gonzales JG, Somarriba E (2006) Dung beetle and terrestrial mammal diversity in forest, indigenous agroforestry systems and plantain monocultures in Talamanca, Costa Rica. Biodivers Conserv 15:555–585
- HERNANDEZ, J. 1965. Insect pollination of cacao (*Theobroma cacao* L.) in Costa Rica. Thesis Ph.D. University of Madison, Wis, US. 173 pp.
- HIDALGO Eduardo, PEREZ Gerardo. 2008. Departamento de Fitoprotección, CATIE 2008
- KAUFMANN T. 1975. 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, pg 263-268, U.S.A

KAUFMANN Tohko.1975. Ecology and Behavior of Cocoa Pollinating Ceratopogonidae in Ghana, W. Africa. *Environmental Entomology*, Vol 4 (2) pg 347-351

KAUFMANN, T. 1975. Cocoa pollination by males of *Forcipomyia squamipennis* (Dipteral: Ceratopogonidae) in Ghana. *Trop. Agric.* vol. 52(1): 71-74

KEARNS, C, D INOUE, & N WASER. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator Interactions. *Annual review of Ecology and Systematics* 29:83-112.

KEARNS *et al.*, 1998. Vulnerabilidad de los sistemas de polinizadores de cactáceas columnares de México.

KREMEN, C. 2005. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters* 8:468-479.

LASS R.1985. Cocoa Production, Present Constraints and Priorities for Research. World Bank en. Consultado el 31 de Agosto de 2011. Disponible en [www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2000/09/14/000178830\\_98101904162924/Rendered/PDF/multi\\_page.pdf](http://www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2000/09/14/000178830_98101904162924/Rendered/PDF/multi_page.pdf)

LOPEZ, T Gerardo. 2007. Sistemas Agroforestales. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural Pesca y Alimentación (en línea). Puebla. Consultado 5 abr. 2011. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/publicaciones/fichas/listafichas/A-08-1.pdf>

LOSEY, LJ; Vaughan, M. 2006. Ecological services provided by insects. *BioScience* 56: 311-323.

MAVISOY, Henry y CABEZAS, Servio. 2009. Evaluación de la abundancia de Ceratopogónidos (Díptera) polinizadores de cacao (*Theobroma cacao*) en la hojarasca de 7 árboles de sombra, Talamanca – Costa Rica. Tesis Pregrado. Universidad de Nariño. 46 p

NARVAEZ, Josefa y Z; Marín, 1996. Taxonomía y ecología de las especies que polinizan

OSPINA F, ESTÉVEZ J, REALPE E y GAST F. 2008. Diversidad de invertebrados acuáticos asociados a Bromeliaceae en un bosque de montaña (en línea). *Revista Colombiana de Entomología* vol.34 no.2 Bogotá Jul./Dic. 2008. Consultado 18 abr. 2011. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-04882008000200016&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-04882008000200016&script=sci_arttext)

Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) CR 2007. Estrategias del PCC. Consultado el 1 Sept de 2011. Disponible en

[http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/pcc\\_docfinal\\_estrategias.pdf](http://www.catie.ac.cr/BancoMedios/Documentos%20PDF/pcc_docfinal_estrategias.pdf)

Proyecto Cacao Centroamérica (PCC) CR 2007. Competitividad y ambiente en los territorios cacaoteros de Centroamérica. CATIE, Turrialba, CR. 170p.

RICHARDS, AJ. 1986. *Plant Breeding Systems*. Paston Press, London.

SOMARRIBA E, HARVEY C. 2003. ¿Cómo integrar la producción sostenible y conservación de la biodiversidad en cacaotales orgánicos indígenas?. Agroforestería en las Américas (CATIE). 2003. v. 10(37-38) p.12-17

SORIA S. 1973. Locais de coleta e distribuicao de *Forcipomyia* (Díptera, Ceratopogonidae) relacionadas com a floracao e frutificao do cacauero na bahía, Brasil. Revista Theobroma, Itabuna, Brasil, Vol. 3 (2):41-49, Abril-Junio 1973

SORIA S. 1977. Polinizacao natural do cacauero: 3 Criacao de mosquinhas *Focipomyia spp.* (Díptera, Ceratopogonidae) em laboratorio, determinacao de potenciais biótico reproductivo. CEPEC 1977-1978.pg 108

SORIA S de J. 1979. Insectos polinizadores: Forcipomyia métodos para aumentar la polinización y sus efectos sobre la producción. 7ª conferencia internacional de pesquisas em cacau.

SORIA 1980. Isect pollination of cacao in Costa Rica. 1. Preliminary list of the ceratopogonid midges collected from flowers, Revista Theobroma Vol 10 (2) pg 61-69

WINDER Anthony, SILVA Pedrito. 1972. Pesquisa sobre a polinizacao do cacaueriro por insetos na Bahía. Revista Theobroma. CEPEC, Itabuna, Brazil. Vol 2 (3) pg 36-46

WINDER A.1977. Field observations on Ceratopogonidae and other Dipteral: Nematocera associated with cocoa flowers in Brazil. Bulletind Entomological Research. Vol 67 pg 57-63, published 1977

WINDER, J .1978: The role of non-dipterous insects in the pollination of cocoa in Brazil. Bulleting entomological research, Vol 68, pg 559-574

YOUNG A. 1997. Agroforestry for soil management. CAB International, Wallingford, UK

YOUNG Allen. 1982. Effects of shade cover and availability of midge breeding sites on pollinating midge population and fruit set in two cocoa farm. Journal of Applied Ecology, Vol 19, pg 47-63

YOUNG H. 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 coca farm in Costa Rica. *Journal of Applied Ecology*. V20.pg 801-831

YOUNG, AM. 1986. Habitat Differences in Cocoa Tree Flowering, Fruit-Set, and Pollinator Availability in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* vol. 2, no. 2: 163-186

ZUMBADO M. 1999: Dípteros de Costa Rica, Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio)

## 8. GLOSARIO

**APROCACAHO:** Asociación de Productores de Cacao de Honduras.

**Bromeliaceae:** Forman una familia de plantas monocotiledóneas que consta de hierbas perennes terrestres o epífitas, o arbustos, oriundas de las regiones tropicales y templadas

**CATIE:** Centro Agronomico de Investigación y Enseñanza.

**Ceratopogonidae:** También conocidos como beatillas, "chinchas" chupadoras y, en algunas partes de México, como chaquistles) son una familia de pequeños dípteros nematóceros de 1 a 4 mm de longitud. Están estrechamente relacionadas con las Chironomidae, Simuliidae, y Thaumaleidae. Se las encuentra en hábitats acuáticos y semiacuáticos en todo el mundo. Las hembras de muchas especies están adaptadas para chupar sangre de una gran cantidad de hospedantes animales (hematofagia).

**Floración:** Tiempo que permanecen abiertas las flores de las plantas de una misma especie

**Inhibir:** Detener o disminuir el funcionamiento de un proceso.

**PCC:** Proyecto Cacao Centroamérica.

**Polinización:** Es el proceso de transferencia del polen desde los estambres hasta el estigma o parte receptiva de las flores en las angiospermas, donde germina y fecunda los óvulos de la flor, haciendo posible la producción de semillas y frutos.

**SAF:** Sistemas Agroforestales

**Sistemas Agroforestales:** Sistemas de producción agropecuaria que incorporan dentro de sus elementos el componente forestal, de manera que se logra un equilibrio productivo entre los bienes agropecuarios y los beneficios agregados de los sistemas forestales generando beneficios adicionales a las familias campesinas.

## 9. ANEXOS

### Materiales requeridos

ACTIVIDAD	MATERIALES	UNIDADES
Estanteria	Mesas	3
Muestreo de Sustratos	Bolsas plásticas (9 x 16)	400
	Machetes	1
	Brújula	1
	Saco de propileno	1
Elaboracion de trampas de Emergencia	Cajas de Plástico con tapa (30x20x12 cm)	40
	Bisturí grande (Cuchillas)	3
	Malla color café (pantis)	25
	Silicona en barras	25
	Pistola de silicona	1
	Tubos de plastic	40
	Azúcar (Kilogramos)	1
	Alambre Galvanizado (Kg)	2
	Alicate	1
	Tijeras	2
	Pinzas	1
	Hules	40
Muestreo de Insectos en el laboratorio	Rociador manual	1
	Tubos de ensayo	50
	Gradillas para tubo de ensayo	5

	Masquintape (rollo)	2
	Alcohol 70% (L)	2
	Guantes sintéticos (Pares)	4
Papelería	Libretas de apuntes	2
	Lápiz	3
	Marcadores permanentes	2

### Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	2011					
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo.	Sep.
Revisión de literatura y capacitación						
Elaboración de Trampas						
Fase de Campo: Recolección muestras						
Fase Laboratorio: Recolección de insectos						
Identificación y Clasificación						
Análisis de Datos: Informe final						
Divulgación de resultados						







Esta tesis fue elaborada como requisito de graduación a solicitud de la Carrera de Agricultura de la Universidad de San Pedro Sula, bajo el cuidado de Rosa Melissa Ramos, en San Pedro Sula, Honduras y se terminó el día 12 de Septiembre de 2011. Se elaboró un ejemplar.