

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de  
*Theobroma cacao***

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado  
en Ciencias Biológicas**

**DIEGO FRANS RÍOS SEVILLA**

**Quito, 2015**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de  
*Theobroma cacao***

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado  
en Ciencias Biológicas**

**DIEGO FRANS RÍOS SEVILLA**

**Quito, 2015**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Biológicas, del Sr. Diego Frans Ríos Sevilla ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Msc. Alvaro Barragán

Quito, 27 de marzo de 2015

## TABLA DE CONTENIDO

1.	RESUMEN.....	1
2.	ABSTRACT.....	3
3.	INTRODUCCIÓN.....	4
4.	DESARROLLO TEÓRICO.....	7
4.1	EL CULTIVO DEL CACAO EN ECUADOR.....	7
4.2	EL ORIGEN DEL CACAO.....	8
4.3	DESCRIPCIÓN DE <i>Theobroma cacao</i> .....	10
4.3.1	BIOLOGÍA FLORAL.....	13
4.3.2	LA ESTRUCTURA DE LA FLOR DEL CACAO.....	16
4.3.3	EL POLEN DEL CACAO.....	17
4.4	ECOLOGÍA DEL ÁRBOL DE CACAO.....	18
4.5	LA POLINIZACIÓN DEL CACAO.....	22
4.6	DIVERSIDAD DE INSECTOS EN LA FLOR DEL CACAO.....	25
4.7	DIVERSIDAD DE INSECTOS POLINIZADORES DEL CACAO.....	27
4.8	FACTORES PARA LA DIVERSIDAD DE POLINIZADORES.....	33
4.9	LA ABUNDANCIA DE LOS POLINIZADORES.....	33
4.10	FACTORES PARA LA ABUNDANCIA DE POLINIZADORES.....	35
5.	CONCLUSIONES.....	37
6.	RECOMENDACIONES.....	39
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Estructura floral de *Theobroma cacao* y descripción de sus partes.....46
- Figura 2.** Detalle del tronco, fruto, flor y hojas de *Theobroma cacao*.....47

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Especies de insectos registradas en flores de cacao.....	49
<b>Tabla 2.</b> La colección identificada de Ceratopogonidae, polinizadores de cacao, depositada en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).....	50

## 1. RESUMEN

El cacao *Theobroma cacao*, se origina en las selvas tropicales de Suramérica, específicamente desde una zona compartida entre la Amazonia de Ecuador, Colombia y Perú; el cultivo tradicional de cacao se realiza bajo sistemas agroforestales que, además de ser biodiversos, también albergan poblaciones importantes de insectos.

La entomofauna asociada a la flor del cacao juega un papel muy importante en los mecanismos de polinización debido a que la flor del cacao tiene estructuras que evolutivamente corresponden a una flor especializada, por lo tanto, su diseño funcionalmente atrae a pocas especies de insectos, con los cuales ha desarrollado una estrategia de mutualismo; en esta interacción, la flor provee néctar en cantidades reducidas que está disponible únicamente en cortos periodos de tiempo, para insectos diurnos de tamaño pequeño, quienes a cambio contribuyen con el proceso de polinización en el momento en el que la flor esta lista para ser fecundada.

Después de haber analizado varias fuentes bibliográficas se ha determinado que la diversidad de la entomofauna asociada a la flor del cacao es reducida y está compuesta por al menos 34 especies de insectos; sin embargo, 25 de las especies reportadas corresponden al orden Díptera, familia Ceratopogonidae; en este grupo, al menos tres especies son las responsables en mayor grado del proceso de polinización.

En el presente análisis, se concluye que la diversidad y abundancia de los insectos asociados con la flor del cacao juegan un papel fundamental en el

proceso de polinización, sin embargo, hasta ahora en Ecuador se conoce muy poco sobre la ecología de la polinización del cacao y específicamente detalles acerca de las especies que intervienen.

**Palabras clave:** cacao, diversidad, entomófila, insectos, polinización

## 2. ABSTRACT

*Theobroma cacao*, is native from the rainforests of South America, specifically from the amazonian areas of Ecuador, Colombia, and Peru; traditional cocoa cultivation is performed under agroforestry systems, which besides being biodiverse are also house of an important number of insect populations.

The diversity and abundance of insects associated with cacao flowers play an important role in pollination, the cacao flower contains very specialized structures that make their design attractive to a restricted group of insect species. Moreover, a mutualistic relationship has evolved, in which the flower provides nectar in small quantities and only available for short periods of time for small diurnal insects who in return contribute to the pollination process when the flower is ready to be fertilized.

After compiling and analyzing various literature it has been determined that the diversity of the insect fauna associated with cacao flower is small and consists of at least 34 species of insects, moreover 25 species reported correspond to the order Diptera, Ceratopogonidae family; within this group at least three species are responsible in greater degree of the pollination process.

After this thorough analysis, it is concluded that the diversity and abundance of the insects associated to the cacao flower play a key role in the pollination process. However, little is known in Ecuador regarding the ecology nature of the process itself and specifically which are the species that intervene.

**Keywords:** cacao, diversity, entomophilous, insects, pollination

### 3. INTRODUCCIÓN

Las primeras plantas con flores, o angiospermas, aparecieron aproximadamente hace 130 millones de años, durante la primera mitad del período Cretácico y hacia finales de la era Mesozoica (Curtis y Schnek, 2008); actualmente, son el grupo más grande y más importante de plantas desde el punto de vista ecológico y económico ya que configuran la mayoría de los hábitats terrestres en el planeta y proveen alimento y refugio para los organismos que los habitan (Pesantes, 2011).

La polinización realizada por animales es un mecanismo muy importante para el desarrollo de los ecosistemas, tanto desde el punto de vista biológico como económico (Kearns *et al.*, 1998). Se estima que cerca del 90% de las 300.000 especies de angiospermas son polinizadas por animales (Richards, 1986), siendo los insectos el 90% de los polinizadores (Buchmann, 1996).

En las plantas con flor, la polinización realizada por insectos o polinización *entomófila*, es un mecanismo de mutualismo que ha generado varias ventajas para su reproducción y sobrevivencia; en este contexto, mientras más atractivas son las flores para los insectos, resultan más visitadas por ellos y consecuentemente más polinizadas. En este proceso evolutivo se originaron estructuras como los nectarios y los osmóforos, órganos productores de néctar y olores respectivamente, que tienen la función de atraer a los polinizadores a cambio de nutrientes y otros beneficios (Curtis & Schnek, 2008).

La atracción de los polinizadores también implicó la presencia de otros insectos depredadores; por lo tanto, la protección del óvulo fue necesaria a través de la evolución de estructuras como el carpelo cerrado y posteriormente de un

ovario ínfero. Los grupos de insectos especializados en la polinización evolucionaron conjuntamente con las angiospermas durante 50 millones de años, por lo tanto, los insectos polinizadores actualmente son muy abundantes diversos en el planeta y contribuyeron directamente en la diversificación de las angiospermas (Raven *et al.*, 2004).

Cuando una planta es polinizada por organismos, ésta tiende a especializarse en base a las características morfológicas de estos visitantes; en este contexto, muchas modificaciones de las flores han sido desarrolladas como adaptaciones evolutivas que favorecen a los polinizadores (Raven *et al.*, 2004).

La polinización entomófila es realizada por varios tipos de insectos, principalmente por escarabajos, mariposas, abejas, avispas y moscas; en todos los casos, las adaptaciones desarrolladas por las plantas son mecanismos de mutualismo que favorecen a ambos organismos (Kearns *et al.*, 1998).

En términos generales la polinización entomófila es un proceso fundamental en varios cultivos de importancia agrícola. Se estima que alrededor del 30% de los productos de consumo tales como aceites comestibles, medicinas y fibra que utiliza el ser humano dependen de animales polinizadores (Committee on the status of pollinators in North America North America, 2007).

Entre los cultivos de importancia agrícola se encuentra el árbol del cacao, *Theobroma cacao*, el cual posee flores pequeñas con adaptaciones especiales fundamentalmente para una polinización entomófila. Varios estudios han demostrado que los polinizadores del cacao pertenecen principalmente al orden Díptera, siendo la familia Ceratopogonidae la de mayor importancia (Young, 1986).

Por otro lado, el cultivo tradicional de cacao se ha basado en el establecimiento de sistemas agroforestales, en los cuales los productores incorporan una gran variedad de árboles, especialmente forestales y frutales, de los que obtienen diferentes productos para su subsistencia como alimentos y madera. Esta configuración favorece al cultivo del cacao ya que naturalmente es una especie que evolucionó bajo un dosel de bosque (Ramos, 2011). Es importante destacar que los sistemas agroforestales también generan una serie de beneficios, tanto para los productores como para el medio ambiente como la conservación de la biodiversidad (Rios *et al.*, 1997).

## 4. DESARROLLO TEÓRICO

### 4.1 EL CULTIVO DEL CACAO EN ECUADOR

El cacao se cultiva en zonas tropicales alrededor del mundo principalmente en América, África y Asia; el cacao para Ecuador es un producto de identidad territorial pues además de ser originario de la región amazónica, también dominó por varios siglos la generación de divisas para el país, antes del boom petrolero, dando lugar al apareamiento de los primeros capitales y desarrollando sectores importantes como la banca, la industria y el comercio (Ríos, 2013).

Actualmente, Ecuador es el quinto productor mundial de cacao con una cosecha anual que alcanzó las 230 mil toneladas métricas en el 2014; constituye una de las principales actividades agrícolas de más de 100.000 pequeños agricultores en zonas rurales de la costa y Amazonia. Las exportaciones de cacao y semi-elaborados generaron cerca de 530 millones de dólares en el año 2014. Se estima que en Ecuador se cultivan alrededor de 450.000 hectáreas de cacao, las cuales en su mayor parte se manejan bajo sistemas agroforestales que mantienen una importante cobertura de sombra. El promedio de producción de cacao seco a nivel nacional es de 6 quintales por hectárea al año el cual es un rendimiento muy bajo en comparación a otros países productores. Entre los principales factores que inciden en el desempeño productivo y el rendimiento del cultivo están la falta de manejo agronómico y la presencia de plagas y enfermedades (Ríos, 2013).

Ecuador por tradición es un importante productor de cacao; y en la actualidad, es reconocido internacionalmente por ser el país proveedor del 70% de la producción mundial de cacao fino y de aroma; el cacao proveniente de las

distintas zonas de producción se diferencia por tener una gran variedad de sabores característicos de cada región (Ríos, 2013).

El cultivo tradicional del cacao implica la asociación con otros árboles que proporcionan la sombra necesaria para su óptimo desarrollo y producción; por lo tanto, estas plantaciones de cacao son sistemas agroecológicos que a su vez generan varios servicios ambientales ya que favorecen la diversidad de especies de flora y fauna típicas de las zonas de producción, funcionan como zonas de amortiguamiento en áreas naturales, facilitan la conectividad entre remanentes de vegetación, aportan con la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico, y funcionan como refugio para varias especies de aves migratorias (Ríos *et al.*, 1997).

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 (Gots y Harvey, 2007). Por otro lado, la diversidad y abundancia de insectos polinizadores en los sistemas agroforestales de cacao puede estar influenciada por varias causas; entre ellas, el ambiente biótico y físico (clima y microclima) y características de las plantaciones, como la cobertura y espaciamiento de los árboles de sombra (Bos, 2007).

#### **4.2 EL ORIGEN DEL CACAO**

Desde el siglo pasado se han propuesto varias teorías sobre el origen y la domesticación del árbol de cacao; en la actualidad, mediante el uso de modernas técnicas de análisis genético y gracias al trabajo multidisciplinario de varios científicos, botánicos, agrónomos y antropólogos se han recopilado evidencias y

hallazgos sorprendentes sobre el origen, domesticación y uso temprano del cacao (Ríos, 2011).

El origen de esta especie corresponde a la región amazónica (cuenca alta del río Amazonas) y comprende países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil. En esta región es donde se presenta la mayor variación de la especie. Desde este origen el cacao se extendió hasta llegar a Centroamérica, pero no se sabe si su dispersión ocurrió naturalmente o con la ayuda del hombre. Sigue siendo un misterio el cómo llegó a esta región, donde se ha cultivado por lo menos durante 3.000 años. El cacao también se llevó de Brasil a la colonia portuguesa de Príncipe en 1822 y de ahí a Sao Tomé en 1830, ambas en el Golfo de Guinea. Ghana obtiene el cacao en 1879 y por el año de 1951, actualmente el oeste de África produce más del 60 % de la producción mundial de cacao (Ríos, 2011).

Sin embargo, existieron varias teorías sobre el origen del cacao que se plantearon en el siglo pasado. Por ejemplo, el científico Ruso Nikolay Vavilov, padre de la fitogeografía aplicada propuso la teoría de los centros de origen proponiendo que el origen del cacao estaba en mesoamérica; poco tiempo después, el Dr. F.J. Pound, agrónomo e investigador de Trinidad y Tobago realizó una extensa recolección de variedades de cacao en la cuenca del Amazonas y posteriormente, en año 1944 el científico E. Chessman analiza esta información y propone que el origen del cacao se encuentra en el alto Amazonas en una zona de influencia de alrededor de 400 km de radio en las cercanías de los ríos Napo, Putumayo y afluentes del río Amazonas (Ríos, 2011).

Recientemente, estudios genéticos realizados por el Agrónomo tropical J.C. Motamayor en el año 2008, permitieron reconocer la presencia de 10 grupos genéticos de cacao, los cuales también presentan una correspondencia con el origen geográfico propuesto por Chessman (Estación Experimental Central de la Amazonía, 2009). Se confirma nuevamente que desde el alto Amazonas, ocurrió la dispersión del cacao en tres direcciones Centroamérica, oeste Sudamericano y este Sudamericano (Ríos, 2011).

Hallazgos todavía más sorprendentes, en estudios realizados por científicos ecuatorianos y franceses, revelan el descubrimiento de evidencias arqueológicas contundentes en la cultura Mayo Chinchipe, que datan de hace 3.300 años AC (5.300 años hasta la actualidad). En las excavaciones de esta milenaria cultura ubicada en la actual localidad de Santa Ana, La Florida, del cantón Palanda, Provincia de Zamora Chinchipe se han registrado residuos de cacao en cerámicas y piedras. Este hallazgo que tiene una importancia de carácter global, pues constituye el registro más antiguo del uso del cacao por el ser humano, incluso 2.300 años antes de los registros en las culturas mesoamericanas (Valdéz, 2013).

#### **4.3 DESCRIPCIÓN DE *Theobroma cacao***

El árbol del cacao pertenece al orden Malvales, familia Malvaceae, subfamilia Sterculioidea, género *Theobroma*, el cual está conformado por unas 30 especies (Estación Experimental Central de la Amazonía, 2009). La especie *Theobroma cacao* es la más conocida del género debido a su actual distribución e importancia económica y social. El cacao comercial *Theobroma cacao* ha sido clasificado en tres complejos genéticos amplios denominados: criollos, forasteros y trinitarios (INIAP, 1993).

La morfología del árbol de cacao presenta las siguientes características:

**Estructura.-** Es un árbol de dosel medio, perennifolio, de 4 a 6 m de altura en cultivos bajo sistemas agroforestales y de 3 a 4 m en plantaciones comerciales a pleno sol. El cacao silvestre puede crecer hasta 20 m o más (CONABIO, 2010).

**Dosel.-** Copa baja, densa y extendida; las hojas son grandes, alternas, colgantes, lámina elíptica, de 20 a 35 cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, ápice agudo, ligeramente coriáceas, margen liso, haz de color verde oscuro y envés de color verde claro y pecioladas. Las plantas que se encuentran en etapa de desarrollo inicial desarrollan hojas grandes de color marrón intenso en los brotes terminales (INIAP, 1993).

**Tronco y Ramas.-** El tronco tiene un crecimiento horizontal y vertical, con brotes ortotrópicos o chupones que se desarrollan rápidamente en época lluviosa. Las ramas presentan un crecimiento predominantemente plagiotrópico o en abanico. Las ramas primarias se forman en verticilos terminales con 3 a 6 ramillas; al conjunto se le llama molinillo. Es una especie cauliflora, es decir, las flores se desarrollan sobre el tronco o las viejas ramificaciones (INIAP, 1993).

**Corteza.-** Es de estructura leñosa de color castaño oscuro, agrietada, áspera y delgada en estadios iniciales de desarrollo. La parte interna es de color café y presenta abultamientos denominados cojinetes florales (INIAP, 1993).

**Flores.-** Se desarrollan en los cojinetes florales en racimos a lo largo del tronco y de las ramas, están sostenidas por un pedicelo de 1 a 3 cm. La flor del cacao tiene una estructura pentámera, de color blanco o violeta claro, su tamaño es de 0.5 a 1 cm de diámetro y 2 a 2.5 cm de largo (INIAP, 1993; CONABIO, 2010).

Fruto.- Es una baya de tamaño, color y forma variada, comúnmente denominada "mazorca", su corteza es dura, generalmente oblonga, ovalada o amelonada, de color amarillo, rojo o purpúrea, de 15 a 30 cm de largo por 7 a 10 cm de ancho, superficie lisa o rugosa con comisuras longitudinales (Figura 2); cada mazorca contiene entre 30 y 40 semillas dispuestas en placentación axial y cubiertas de una pulpa (CONABIO, 2010).

Semilla.- De tamaño variado con dos cotiledones de color púrpura, de 2 a 3 cm de largo y de sabor amargo. Están recubiertas por una pulpa de color blanco y de sabor dulce y acidulado. Las semillas de cacao son ricas en almidón, proteínas, grasa oleica y sustancias antioxidantes (Enríquez, 1985). *Theobroma cacao* no desarrolla un arilo pero la pared de su fruto se mantiene unida la testa hasta la madurez, de manera que la pulpa del fruto está tan unida a la semilla que podría confundirse con un arilo (Fajardo *et al.*, 2012).

Raíz.- El cacao posee una raíz pivotante que en condiciones favorables puede penetrar más de 2 m de profundidad, favoreciendo el reciclaje de nutrientes y de un extenso sistema superficial de raíces laterales distribuidas alrededor de 15 a 30 cm por debajo de la superficie (INIAP, 1993).

Genoma.- El genoma del cacao es diploide y comprende 10 pares de cromosomas. En la secuencia del genoma de cacao se han identificado 28.798 genes codificadores de proteínas (MARS *et al.*, 2015).

Adaptación.- Especie de fácil adaptación. Presenta una gran variabilidad genética y adaptación a distintos pisos térmicos, en condiciones muy variables de clima y suelo (Enríquez, 1985).

### 4.3.1 BIOLOGÍA FLORAL

La relación existente entre insectos y plantas con flor es el mutualismo, esta característica es tan fuerte que sería difícil imaginar a las angiospermas actuales sin la presencia de insectos polinizadores. El néctar que producen las flores contiene sustancias como la sucrosa, glucosa, fructosa y en algunos casos aminoácidos. El néctar y el polen no son los únicos beneficios que produce una flor para sus polinizadores, otras estructuras de la flor también pueden producir sustancias como resinas, aceites, exudados e incluso atrayentes sexuales (Price, 1997).

Especies como el cacao dependen en gran medida de relaciones mutualistas, generadas con sus polinizadores (planta-polinizador) y en estado natural con las especies que funcionan como dispersores de semillas (Price, 1997). Existen dos hipótesis que sustentan este hecho:

- 1) Los insectos polinizadores permiten el cruzamiento genético de especies de plantas incluso en individuos que están dispersos o aislados.
- 2) La dependencia de insectos polinizadores se vuelve importante en especies en las que la dispersión de sus semillas ha sido posible por especies como las aves.

Si bien el néctar de las flores es una fuente importante de energía para los polinizadores, esto también implicaba que las fuentes de proteína debían ser encontradas en otras fuentes; sin embargo, si el abastecimiento de proteína podría darse en las mismas flores esto haría que los insectos sean más eficientes en la alimentación y en la polinización. En los estudios realizados por Baker y Baker (1978) se encontraron concentraciones significativas de aminoácidos en

266 especies de flores con lo cual determinó que este hecho no es una característica fortuita sino más bien una importante adaptación evolutiva (Price, 1997).

Sin embargo, en flores poco especializadas tanto el néctar como el polen están disponibles para todos los polinizadores por lo tanto no es necesario contar con un suplemento de aminoácidos en el néctar (Price, 1997).

La evolución en las flores tiende a restringir las visitas de ciertas poblaciones de polinizadores a una sola especie, lo cual implica una adaptación especializada para las dos partes (Price, 1997).

Por otro lado, los polinizadores no se restringen a visitar una sola planta y por lo tanto, la cantidad de néctar secretado por cada flor y por toda la planta en un tiempo determinado debe ser ajustado de manera precisa (Price, 1997).

Finalmente, una planta únicamente puede controlar la recompensa calórica con relación a un determinado organismo ya que cada organismo tiene diferentes requerimientos energéticos (Price, 1997).

El cacao es una planta cauliflora ya que sus flores se forman principalmente en el tronco principal y en las ramas secundarias en estructuras denominadas cojinetes o almohadillas florales. Las estructuras florales nacen endógenamente del floema. Típicamente, el período desde el momento en el que emerge un botón floral hasta su apertura es de aproximadamente 30 días y este proceso está influenciado directamente por los factores climáticos del entorno.

Normalmente, hay una fuerte producción de flores con las primeras lluvias después de una época seca; esto hace que en algunas zonas productivas los

períodos de cosecha sean muy marcados y definidos; sin embargo, en otras zonas no existen períodos de lluvia y sequía marcados, por lo tanto, la floración es permanente y está influenciada principalmente por las horas de luz (Enríquez, 1985).

El botón de una flor de cacao inicia su apertura después del mediodía, este proceso inicia con movimientos muy lentos de los sépalos que dan paso a su separación, la hora en la que se produce la mayor apertura de los botones es al finalizar la tarde (5:00 pm) especialmente cuando hay menos humedad y más luz; este proceso continúa durante toda la noche. En general, las anteras ya están abiertas en la mañana y los granos de polen listos para el proceso de fecundación (Enríquez, 1985).

Una planta de cacao produce en promedio  $4554 \pm 687$  flores en seis meses, en donde la polinización efectiva, que posteriormente formará un fruto, es de solo el 5,2% (Abrol, 2011). Entre los factores más importantes que afectan la producción está el ataque de enfermedades fungosas como la monilia que es producida por el hongo (*Moniliophthora roreri*), y las variaciones en las poblaciones de insectos polinizadores que pueden estar relacionadas con el manejo del cultivo (Young, 1982).

El grano de polen del cacao es pequeño, esférico y pegajoso y por estas características se agrupa para formar conglomerados que tienen varios cientos de granos. En varios estudios realizados se reporta que el polen del cacao es transportado por un número reducido de insectos, principalmente de algunas especies del género *Forcipomyia* y en algunos casos tripsidos del género *Frankliniella* (Enríquez, 1985).

En estudios previos se ha demostrado que al menos la mitad de los insectos encontrados en un agro ecosistema de cacao no visitan la flor de cacao; por otro lado, varios de los visitantes no acarreaban polen, únicamente insectos del grupo de los Ceratopogonidae del orden Díptera fueron identificados como importantes polinizadores de la flor de cacao. El ecosistema de cacao puede albergar una gran diversidad de insectos; sin embargo, la evolución de la estructura floral restringe el acceso a la mayoría de insectos y permite únicamente que unos pocos puedan realizar el trabajo de polinización (Adjaloo y Oduro, 2013).

#### **4.3.2 LA ESTRUCTURA DE LA FLOR DEL CACAO**

La flor del cacao (Figura 1) es hermafrodita o perfecta ya que posee todas las estructuras masculinas y femeninas; su longitud varía de 1 a 3 centímetros, con un diámetro que fluctúa entre 0,5 y 1 centímetro; su fórmula floral es (INIAP, 1993):

**\*;S5; P5; E5 + 5°; G(5); baya**

\*: Flor con estructura radial.

S5: Cáliz formado por cinco sépalos carnosos de color blanco o rosado fusionados en la base, se abren para formar una base que protege el resto de la estructura floral.

P5: La corola posee 5 pétalos, de 6 a 9 milímetros que están alternados con los sépalos y presentan una estructura a manera de pliegue denominada cógula o concha que es de color blanco y posee dos nervaduras que le dan resistencia. Esta estructura funciona como una capsula que cubre a las anteras.

E5 + 5°: Corresponde al androceo o parte masculina de flor, está conformado por 5 estambres fértiles y 5 estaminodios alargados que rodean y protegen al pistilo.

Los estambres están protegidos por una estructura capsular denominada cógula. Las anteras poseen 4 sacos de polen con dehiscencia longitudinal.

G(5): El órgano femenino de la flor o gineceo está formado por el pistilo el cual tiene tres partes (estigma, estilo y ovario). El ovario es súpero y está compuesto por 5 carpelos con una placenta central conectada a los óvulos que pueden estar en un número de 30 a 50.

La flor del cacao posee estructuras que están hechas para impedir una polinización fácil, pues su polen no está al alcance de todos los insectos que la visitan o se alimentan de ella; especies de Hymenopteros como la abeja común o los melipóninos, por ejemplo, son incapaces de impregnarse de polen de cacao debido a la barrera física que crean los pétalos sobre las anteras (Figura 1). El viento tampoco es un buen factor de polinización, porque el polen del cacao se humedece rápidamente en la selva y por lo tanto adquiere peso y cae (Córdoba *et al.*, 2013).

#### **4.3.3 EL POLEN DEL CACAO**

Las flores polinizadas por insectos producen gran cantidad de polen que a menudo es liso y pequeño (Raven *et al.*, 2004).

En general la viabilidad del polen de las plantas en estado natural es bastante corto; en el caso de la flor del cacao, cuando esta se abre, este período es de 48 horas y en algunas condiciones especiales puede llegar hasta 72 (INIAP, 1993). En cuanto a las características físicas del polen de *Theobroma cacao* encontramos que éste es bastante pequeño ya que posee un tamaño promedio de 16 x 17  $\mu\text{m}$ , su forma es esférica o suboblato - esférico, con una estratificación tejilada, diseño reticulado y de apertura tricolada (IICA y CATIE, 1964).

#### 4.4 ECOLOGÍA DEL ÁRBOL DE CACAO

El género *Theobroma* se encuentra en estado natural en los pisos inferiores de las selvas húmedas de América tropical y prospera mejor hasta una altitud de 1.200 m (INIAP, 1993).

Naturalmente el cacao es una especie umbrófila ya que evolucionó bajo un dosel cerrado. Este árbol se cultiva bajo la sombra de árboles más grandes pues requiere protección para su desarrollo normal y producción. Comparte el segundo y tercer estrato en las selvas tropicales. El cacao florece durante casi todo el año (principalmente entre junio y septiembre). Los frutos maduran en un periodo de 5 meses y dependiendo de la zona de producción se generan picos de cosecha marcados, (INIAP, 1993).

El cacao crece en áreas de topografía plana u ondulada se desarrolla mejor en zonas cálidas con pocas fluctuaciones de temperatura y humedad. La precipitación promedio debe ser de 1.300 a 2.800 mm por año con una estación seca corta. El clima debe ser constantemente húmedo, con temperatura media diaria entre 20 y 30 °C, con una mínima de 16 °C. Para su pleno desarrollo exige suelos profundos, fértiles y bien drenados (INIAP, 1993).

Las flores del cacao son receptivas para su fecundación desde las primeras horas de la mañana; sin embargo, a pesar de que el polen puede mantenerse viable hasta por un período de tres días una porción muy grande de las flores no son polinizadas y se desprenden después de 48 horas (INIAP, 1993).

Compatibilidad.- Los árboles de cacao dependiendo de su variedad han desarrollado diferentes niveles de compatibilidad con la finalidad de favorecer la fecundación cruzada y mantener la formación de individuos heterocigotos; a pesar

de que los mecanismos de autoincompatibilidad son bastante eficientes no excluye por completo la autofecundación (INIAP, 1993).

Dispersión.- Entre los agentes de dispersión se encuentran los monos, ardillas, murciélagos, loros y posteriormente las corrientes de agua. Los monos ocupan un lugar preponderante ya que se alimentan de los frutos del cacao aprovechando su pulpa y los nutrientes de los cotiledones en este proceso acarrear las semillas a otros lugares en donde germinan rápidamente. Las mazorcas que maduran en el árbol se secan y caen; por lo tanto, en su ciclo de vida natural el árbol del cacao depende de animales arborícolas como dispersores primarios para completar el proceso de germinación (Enríquez, 1985).

Germinación.- Las semillas, una vez retiradas del fruto, germinan rápidamente, a los 4 ó 6 días después de la siembra. Emergen primero la raíz y el hipocótilo, lo que ocasiona que los cotiledones se eleven por encima del nivel del suelo (10 a 15 días después de la siembra). Desarrollo de la semilla y el fruto: el cigoto comienza a dividirse de 40 a 50 días después de la polinización. La mazorca joven crece junto con los óvulos lentamente en un principio los primeros 40 días después de la siembra, después crece más rápido y alcanza su máximo alrededor de los 75 días. Un segundo período de crecimiento comienza más o menos a los 85 días después de la siembra, que es cuando la mazorca y el óvulo disminuyen su crecimiento a expensas del crecimiento del embrión, el óvulo se encuentra ahora lleno de un endospermo gelatinosos que es consumido por el embrión aproximadamente 140 días después de la siembra. La tasa de crecimiento cesa entonces hasta la madurez. Los frutos maduran y pueden cosecharse a los 5 ó 7 meses. El número de semillas por kilogramo de cacao seco varía según el tipo de cacao entre 400 a 500 (INIAP, 1993 y CONABIO, 2010).

Crecimiento.- Los cotiledones abren exponiendo a la plúmula, la cual empieza a crecer al mismo tiempo que la raíz pero es mucho más pequeña. La primera fase de crecimiento termina con la maduración de las primeras hojas. Aparecen brotes subsecuentes a intervalos de 6 semanas, cuyas hojas se encuentran bien espaciadas con un arreglo en espiral. La planta emprende su siguiente fase de crecimiento entre el segundo y cuarto año de edad mediante la formación de su primer molinillo. Cinco yemas en un eje común del extremo terminal de la planta crecen simultáneamente y en apariencia al mismo nivel, debido a la reducción extrema de los entrenudos entre las hojas. Las yemas que emergen muestran un hábito de crecimiento horizontal, lateral o plagiotrópico y se denominan brotes de abanico, mientras que el tallo crece hacia arriba y es de naturaleza ortotrópica. Después de algunos años puede empezar a crecer un nuevo chupón justo debajo de la unión del primer molinillo y cuando alcanza cierta longitud se forma un nuevo molinillo (INIAP, 1993).

Sombra.- La intensidad adecuada de sombra para las plantas de cacao es un factor clave ya que influencia otros factores como la temperatura, la humedad relativa, evaporación y disponibilidad de agua en el suelo además de factores que influyen en la fertilidad de la plantación como el tiempo para la incorporación de hojarasca que sumados afectan tanto el crecimiento del cacao como su producción (Beer *et al.*, 1998). Se destaca que las plántulas de cacao deben ser sembradas bajo sombra ya que así mantienen mayores concentraciones de clorofila que influye en mayores tasas de asimilación de CO<sub>2</sub>. Un aspecto importante, ya descrito para otros cultivos, es la variabilidad de respuestas que se pueden encontrar en los diferentes cultivares ante variaciones de los diferentes

parámetros como lo es la temperatura y luz y disponibilidad de agua (Jaimez *et al.*, 2008).

Aspectos del cultivo.- Entre los factores críticos para el desarrollo del cultivo están la temperatura y la lluvia. Demanda baja tecnología y pocos insumos. Requiere de árboles que le proporcionen sombra para su mejor desarrollo (INIAP, 1993).

Los árboles de sombra más comúnmente utilizados son: *Erythrina* sp., *Gliricidia sepium*, *Diphysa robinoides*, *Colubrina arborescens*, *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea*. La poda y la regulación de sombra son las prácticas más importantes (Ríos *et al.*, 1997).

En las primeras etapas del cultivo es importante mantener una sombra intensa, la cual se va reduciendo hasta lograr una sombra ligera en las etapas posteriores. Podar al final de la época seca o al inicio de las lluvias es una condición indispensable asegurando que esta actividad no se realice en etapas intermedias (INIAP, 1993).

El trasplante de las plántulas se hace a los 4 ó 5 meses (50 a 60 cm de altura), con follaje sano. El espaciamiento tradicional entre plantas es de 4x4 (625 plantas por ha) en plantaciones tradicionales, pero en la actualidad la densidad más adecuada en función de tiempo y espacio para plantaciones comerciales es de 3 x 3 (1.111 plantas por ha). Es importante tener en cuenta los caracteres de autocompatibilidad e intercompatibilidad cuando se vayan a establecer plantaciones clonales (INIAP, 1993).

Entomofauna.- Los insectos que frecuentan el árbol de cacao pertenecen en su mayoría a los órdenes Hymenoptera, Díptera, Orthoptera, y Coleoptera.

Globalmente se ha estimado que existen al menos 1.500 especies asociadas con el cultivo de cacao (Entwistle, 1972).

#### **4.5 LA POLINIZACIÓN DEL CACAO**

La polinización de las plantas es la transmisión del polen hacia los estigmas de otra planta, logrando la fecundación del óvulo y la generación de un nuevo fruto. El ciclo de la producción de cacao, desde la polinización hasta el fruto maduro (listo para cosechar) es, en condiciones normales, de 5 a 6 meses (INIAP, 1993).

Existe muy poca información o estudios detallados sobre el mecanismo de polinización del cacao; por ejemplo, se desconoce la cantidad necesaria de granos de polen que se requieren para fecundar el ovario o para que se produzca la caída de la flor. Sin embargo, considerando el número promedio de semillas en una mazorca de cacao, podemos deducir de por lo menos se requieren de una cantidad aproximada de 60 granos de polen por flor para fecundar a las semillas de una mazorca (com, pers.).

La polinización del cacao es en su mayoría de tipo cruzada, lo que significa que es necesario que un agente lleve el polen de un árbol donador a otro receptor mediante insectos. Muchas variedades de cacao tienen la característica genética de que no pueden auto polinizarse. 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, 1985). 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, 1982).

Por lo general, las flores que se han abierto por la mañana tienen anteras que ya han liberado el polen el cual se encuentra listo para el proceso de polinización; según varios investigadores, el estigma es usualmente polinizado en un período de dos a tres horas posteriores a la apertura de la flor, aunque ésta posteriormente puede permanecer abierta durante todo el día (Cheeseman, 1930).

En condiciones normales las flores que no han sido polinizadas son descartadas rápidamente; sin embargo, cuando las poblaciones de polinizadores son reducidas o cuando se siembra material auto incompatible el desarrollo de frutos en el árbol es limitado. Si la flor no es polinizada se desprende para el próximo día (Summer, 1962).

Estudios realizados por Cheeseman (1932), concluyeron erróneamente que la flor del cacao no producía olores atractivos o néctar; sin embargo, Stejskal (1969) identificó dos tipos de nectarios de tamaño microscópico y posteriormente demostró que las flores del cacao sí producían néctar y que expedían un olor que atraía mosquitos y algunos lepidópteros (Stejskal, 1969).

Por otro lado, si analizamos la morfología de la flor del cacao se puede deducir que únicamente son insectos de tamaño pequeño los agentes responsables de la polinización; algunos autores le dan el crédito a pequeños dípteros del género *Forcipomyia* y *Lasiohela* mientras que otros han sugerido que se trata también de áfidos, trípodos, y abejas silvestres (Córdoba *et al.*, 2013). De todos estos posibles candidatos, actualmente se han descartado a las abejas silvestres ya que por su

tamaño no le es posible acceder a las anteras que están cubiertas por la cógula que es una capsula formada por los pétalos de la flor (Figura 1), este mecanismo de protección es una barrera física que sugiere que el polinizador del cacao es un insecto pequeño capaz de movilizarse por toda la flor.

Se ha reportado que algunos áfidos y varias especies de hormigas (*Crematogaster* sp. y *Ectatomma tuberculatum*) también efectúan la polinización en el cultivo de cacao. Estudios previos realizados en plantaciones de centro América revelaron que únicamente un 5% de las flores de árboles no infestados con hormigas y áfidos pudieron ser polinizadas y de ellas sólo un 0.3% desarrollaron fruto; mientras que en árboles con fuertes infestaciones de estos insectos, un 35% de las flores eran polinizadas y un 2% de ellas desarrollaron fruta (Harland, 1924).

En la actualidad se ha determinado que el principal agente polinizador del cacao es una activa y pequeña mosquita (*Forcipomyia* sp.), que se ha encontrado en todas las áreas donde se cultiva el cacao. Estos dípteros pueden volar de un árbol a otro hasta una distancia de 60 m y tienen actividad durante el día después de las 8:00 am.

Los insectos polinizadores son relativamente escasos en las plantaciones de cacao especialmente en sistemas que han sido simplificados en su estructura de sistemas agroforestales a sistemas intensivos, reduciendo la cantidad de materia orgánica como la hojarasca, que es el micro hábitat para el desarrollo de insectos polinizadores (Young, 1982).

El proceso lógico en los cultivos de cacao con bajos niveles de polinización es mejorar los métodos culturales necesarios para el mantenimiento de las

poblaciones de polinizadores; por lo tanto, la naturaleza de incompatibilidad únicamente se compensa mediante una polinización cruzada natural, es así que, el servicio de polinización ofrecido por insectos especialmente acondicionados para esta labor es de importancia vital para el éxito en los rendimientos del cultivo (Ramos, 2011).

#### **4.6 DIVERSIDAD DE INSECTOS EN LA FLOR DEL CACAO**

La diversidad de especies de una comunidad es la variedad de los distintos tipos de organismos que forman la comunidad, este concepto tiene dos componentes que lo complementan. El primero es la riqueza de especies que representa el número total de especies diferentes en la comunidad. El segundo componente corresponde a la abundancia relativa de las especies, que es la proporción de cada especie en el número total de individuos de la comunidad (Campbell y Reece, 2007).

En un estudio reciente para determinar la diversidad de polinizadores, desarrollado en África, se realizaron importantes colecciones de insectos en época de floración. En este contexto, se catalogaron 2.721 insectos pertenecientes a 7 órdenes y 36 especies pero de éstas únicamente aquellas aladas fueron las que se reportaron asociadas a las flores del cacao (Adjaloo y Oduro, 2013).

En otros estudios se pudo determinar que los trípodos y los áfidos se mueven muy poco entre los árboles mientras que las hormigas y meliponinos son únicamente visitantes ocasionales de las flores del cacao. Ya en el año de 1958 el científico Glendenning concluye que los dípteros del género *Forcipomyia*, son los principales polinizadores del cacao, pues reportó el doble de los servicios de

polinización realizado por otras especies. Estos resultados fueron verificados en varios experimentos mediante el uso de bolsas de exclusión con diferentes tipos de insectos sobre flores de cacao (Pesantes, 2011).

En las plantaciones de cacao, existen diversas especies de hormigas, muchas de ellas tienen un comportamiento territorial y son dominantes, estas plantaciones se disponen espacialmente en forma de mosaico y como resultado tenemos que la mayoría de los árboles son forrajeados por una de estas especies de hormigas que provocan diferentes efectos en cada árbol perteneciente a su territorio (Bentley, 1977). Esta disposición espacial, particular de las plantaciones se mantiene constante debido a una competencia interespecífica por parte de las especies de hormigas. De esta manera, factores como la aplicación de insecticidas puede provocar dispersión, y por lo tanto, desbalance de la polinización (Leston, 1970).

Las recolecciones de insectos presentes en las plantaciones de cacao realizadas por Soetardi indicaron la presencia de 30 especies de organismos, de las cuales un 23,3%, o siete especies, eran hormigas polinizadoras de la flor de los árboles de cacao (Soetardi, 1950). Morfológicamente, esta flor tiende a ser de difícil acceso a su interior para insectos caminadores (Feinsinger & Swarm, 1978), razón por la cual la presencia de hormigas es poco frecuente en el interior de las flores del cacao (Janzen, 1977).

En un estudio realizado en la zona cacaotera de Barlovento en Venezuela se realizaron colecciones de flores de cacao para determinar la presencia de hormigas; en el estudio denominado Interacción Hormiga Polinizador en Cacao de las 434 flores observadas de *Theobroma cacao*, el porcentaje que tenía hormigas

fue del 24%. Solo cuatro especies de hormigas se presentaron sobre las flores; de éstas las que se encontraron con mayor frecuencia fueron: *Solenopsis* sp., y *Wasmannia auropunctata*, que constituyen las especies de hormigas más pequeñas; Es importante destacar que las hormigas del género *Solenopsis*, dependen de los hemípteros asociados a las flores. En este estudio también se encontraron otras especies de hormigas como son *Azteca foreli* y *Monacis bispinosa* pero en una proporción mucho menor (Goitia *et al.*, 1992).

Una característica particular de las plantaciones de cacao a lo largo del mundo, es que pocas especies de hormigas son de carácter dominante y separan a otras especies de hormigas de su territorio (Taylor, 1977). Esto brinda una explicación para la diferencia de especies de hormigas presentes en las muestras obtenidas de plantaciones comerciales comparadas con las muestras de plantaciones rústicas (Jaffe *et al.*, 1986). En sistemas agroforestales existe una mayor variedad de especies de hormigas, pero con una densidad de población menor, debido a su diversidad de flora (Entwistle, 1972).

La presencia de una variedad de especies de hormigas en una plantación de cacao puede fomentar la producción, es por esto que se debe tomar en cuenta el manejo de estas especies para el mantenimiento efectivo en los cultivos de cacao (Jaffe *et al.*, 1986).

#### **4.7 DIVERSIDAD DE INSECTOS POLINIZADORES DEL CACAO**

Hasta la actualidad, no existe un consenso sobre cuál es el principal insecto responsable de la polinización del cacao. Se citan por ejemplo: *Forcipomyia quasiigrammi* y *Lasiohella nana*, a las hormigas *Crematogaster* sp., algunas especies de áfidos *Aphis gossypii* y *Toxoptera aurantii*, especies de tripsidos

*Frankliniella parvula* y algunas abejas silvestres aunque este grupo ha sido descartado pues el tamaño de los individuos no les permite acceder a las estructuras florales. Otras especies que podrían considerarse en base a observaciones son las hormigas *Wasmannia suropunctata* y *Solenopsis geminata* (Córdoba *et al.*, 2013).

En lo referente a los áfidos o pulgones (Hemiptera: Aphididae) que se encontraron en hojas, flores y frutos de cacao, la literatura señala la existencia de dos especies: *Aphis gossypii* y *Toxoptera aurantii*, sin embargo, todos los diagnósticos realizados en Bocas del Toro, Panamá, señalan la presencia únicamente del género *Toxoptera* (Córdoba *et al.*, 2013).

Existen diversas especies de insectos que cumplen con el rol de polinizadores de cacao. En el caso de Ecuador, las especies que visitan la flor de cacao con más frecuencia son: *Frankliniella parvula* (Thripidae), *Toxoptera auranti* (Aphididae), *Solenopsis* sp., *Pheidole* sp., *Wasmannia auropunctata*, *Crematogaster* sp., *Paratrechina* sp., *Brachimirex* sp., (Formicidae), y *Forcipomyia* sp, (Ceratopogonidae), que es la especie de polinizadores más frecuente. Todos estos organismos tienen características particulares que les permiten ser polinizadores de la flor de cacao. La primera es la capacidad de volar grandes distancias, la habilidad de transportar grandes cantidades de polen, y finalmente, su tamaño pequeño que les permite el acceso al interior de la flor. (INIAP, 1993).

Existen 1095 especies de Ceratopogonidae descritas en la región Neotropical, aunque existen muchas especies que todavía no han sido descritas, particularmente de los géneros: *Forcipomyia*, *Atrichopogon*, *Dasyhelea* y *Stilobezzia*. Las especies de esta familia pueden ser halladas en todas las

altitudes y virtualmente en todo tipo de hábitat en donde exista al algo de humedad (Borkent y Spinelli, 2007).

Es generalmente aceptado que los Ceratopogónidos, especialmente los géneros *Atrichopogon*, *Dasyhelea*, y *Forcipomyia*, son los principales polinizadores del cacao (Tabla 1). Este último género, figura como el polinizador más efectivo (Soria, 1970).

Todos los miembros de la familia Ceratopogonidae se desarrollan a partir de huevos, que son depositados en sustratos húmedos y en algunas especies directamente en el agua, también poseen un estadio larvario con un proceso de maduración que implica hasta cuatro mudas; posteriormente, las larvas forman una pupa y finalmente individuos adultos. Las larvas de esta familia son detritívoros o predadores en sistemas acuáticos y se encuentran en diferente micro hábitats como orificios de troncos, flores tropicales, hojarasca, y sistemas hídricos. En las zonas del tropicales de América del Sur los Ceratopogonidae en estadios inmaduros fon una fuente importante de alimento para otros insectos y peces (Borkent y Spinelli, 2007).

Los principales polinizadores del cacao son los Dípteros del género *Forcipomyia*, estos son insectos diminutos que tienen características poco perceptibles para el ojo humano; debido a su tamaño son capaces de llegar fácilmente al polen de la flor del cacao, en este caso la cápsula que forman los pétalos le otorgan incluso un refugio que les permite movilizarse de manera segura; las “mosquitas” son más abundantes en ambientes naturales que en las plantaciones comerciales, y son uno de los principales factores en la producción de semillas de cacao (Borkent y Spinelli, 2007).

Varios estudios han demostrado que solo las hembras del género *Forcipomyia* son los individuos que polinizan las flores del cacao (De la Cruz y Soria, 1973). Sin embargo, otro género, *Atrichopogon*, también figura como uno de los polinizadores predominantes del cultivo del cacao pero a diferencia de *Forcipomyia*, exhibe una estrategia en la cual tanto los machos como las hembras visitan las flores por carbohidratos y las hembras perforan los granos de polen en busca de proteína (Young, 1983).

En el caso de *Forcipomyia*, su población es más abundante en temporada de lluvia, y tienen la tendencia a formar colonias en las cáscaras de cacao y hojarasca. Por esta razón, es clave mantener y aumentar los sitios de crianza de este mosquito, para así, estimular una mayor acción polinizadora. Un ejemplo de esto, es dejar las cáscaras de cacao regados uniformemente a lo largo de la plantación (INIAP, 1993).

Dentro del género *Forcipomyia*, algunas especies 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). Al mismo tiempo, se observa la especialización en la complejidad de la estructura de la flor del cacao, la cual parece exclusivamente adaptada para que estos insectos sean los que la polinicen (Goitia *et al.*, 1992).

Aunque los dípteros de del género *Forcipomyia* son los insectos de mayor importancia como polinizadores en el cacao, falta información que establezca claramente el mecanismo realizado, los detalles de las relaciones ecológicas existentes y la diversidad de especies en diferentes áreas de producción.

La colección incluye 178 ejemplares adultos pertenecientes a 27 especies, de las cuales 24 corresponden al género *Forcipomyia* (Tabla 2). El material fue colectado manualmente sobre plantas de cacao en las principales zonas productoras de este cultivo en Venezuela. Los ejemplares están montados en láminas portaobjeto en bálsamo de Canadá según la metodología de Wirth y Marston (1968). La identificación de los especímenes ha sido realizada por el Dr. Gustavo Spinelli y Andrea Dippolito, ambos de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. La colección está a disposición de los investigadores interesados (Sánchez *et al.*, 2001).

La proporción de Ceratopogónidos en suelos cubiertos de desechos orgánicos propios de la selva (tallos y cáscaras de plátano por ejemplo) contribuye a aumentar en una proporción de 10 a 1 la abundancia de estos insectos con respecto a las plantaciones que poseen pocos desechos orgánicos.

Los dípteros del género *Forcipomyia* depositan sus huevos en la materia orgánica descompuesta. En las plantaciones en las que se usan insumos químicos y que poseen poca cobertura vegetal se encuentra una menor de polinizadores. En este contexto, la producción en su mayoría es orgánica y tiende a conservar una buena capa de materia orgánica. La abundancia de polinizadores es fundamental para lograr una producción de cacao rentable (Ramos, 2011).

El caso de las plantaciones de Costa de Marfil que se desarrollan en climas con períodos secos prolongados en donde la materia en descomposición se seca o desaparece los períodos largos de verano afecta directamente a las poblaciones de polinizadores reduciendo su número de manera drástica. En estos ambientes, algunos investigadores han descubierto que conservando sobre el suelo una

abundante masa de tallos de banano se puede ayudar a conservar una población estable de ceratopogónidos, porque el tallo del banano es hueco y con cavidades, lo que ayudan a mantener una buena humedad durante todo el año, formando así colonias permanentes de polinizadores y larvas protegidas en un medio ambiente húmedo y nutritivo.

La polinización de cacao por Ceratopogónidos es altamente dependiente de las poblaciones de mosquitos con los ciclos de floración; y por otro lado, la abundancia de mosquitos también está influenciada directamente con la abundancia de flores (Young, 1983).

Las variables ligadas a los ritmos poblacionales de los insectos polinizadores del cacao como su disponibilidad, tamaño, especie y sexo, y las variables asociadas a los ritmos de la floración como la viabilidad y disponibilidad del polen, determinan el modelo de fluctuación de la polinización (Soria, 1977). Sin embargo, también existen otros factores ambientales como el clima, la humedad y la incidencia de luz que son variables que también influyen sobre la polinización.

El género *Forcipomyia*, está calificado como el principal agente polinizador del cacao, dentro de este, se ha encontrado que las especies de *Forcipomyia eurousjoannisia*, *F. squamipennis*, *F. ashantii*, *F. castanea* 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). En Costa Rica, las especies más eficientes de *Forcipomyia* teniendo en cuenta número y frecuencia de actividad polinizadora fueron: *F. blantoni*, *F. tuberculata* y *Forcipomyia* sp. (Soria et al., 1980). En Ghana, las especies de *Forcipomyia Euprojoannisia*, *F. ashantii* y *F. lepidohalea*, son las más eficientes (Ramos,

2011). Mientras que otros autores reportan que *Forcipomyia inornatipennis* ha probado ser mejor polinizador que otras especies como *F. castanea* y *F. squamipennis* (Ramos, 2011).

#### **4.8 FACTORES PARA LA DIVERSIDAD DE POLINIZADORES**

Es importante destacar que durante el proceso de evolución las flores se adaptaron para restringir las poblaciones de polinizadores reduciendo su número a unos pocos o incluso a una especie. En este contexto los animales que requieren grandes cantidades de energía no utilizarán especies que producen pocas cantidades de néctar y aquellas especies que producen grandes cantidades de néctar han desarrollado estructuras de protección ante organismos pequeños que pueden utilizar el néctar sin contribuir con el proceso de polinización (Price, 1997).

La forma, color y los olores generados por una flor también son características adaptadas para restringir la presencia de polinizadores; por ejemplo algunas flores se abren y secretan néctar por pocas horas en la noche para que estos recursos estén disponibles para especies de murciélagos o mariposas nocturnas y que no estén disponibles para los insectos diurnos o aves (Price, 1997).

#### **4.9 LA ABUNDANCIA DE LOS POLINIZADORES**

En un estudio de polinizadores del cacao realizado en Brasil se reportó una abundancia de entre 3.000 hasta 300.000 polinizadores por hectárea en cacaotales (Winder, 1977); en otra investigación sobre polinizadores realizada en Venezuela se reportaron entre 0,9 y 2,8 polinizadores por árbol equivalentes a 550-1800 polinizadores por hectárea (Narváez y Marín, 1996).

Recientemente, en el año 2013 en Panamá, se determinó las amplias diferencias en la abundancia de polinizadores entre las parcelas estudiadas; las variaciones encontradas estaban influenciadas por la disponibilidad del hábitat necesario para la reproducción de los polinizadores como: montículos de hojarasca, cáscaras de cacao en descomposición y humedad en las plantaciones (Kaufmann, 1987). En los sistemas agroforestales de cacao en Bocas del Toro, Panamá es posible encontrar una abundancia de polinizadores entre 1700 y 19.500 individuos por hectárea; en otros lugares, la variación puede ser todavía mayor (Córdoba *et al.*, 2013).

En el estudio de polinizadores, polinización y producción potencial de cacao en sistemas agroforestales de Bocas del Toro, las diferencias de abundancias entre géneros de polinizadores encontrados parecen pequeñas cuando el análisis se realiza por metro cuadrado o por kilogramo de hojarasca, pero este cálculo en áreas mayores refleja diferencias sustanciales. Por ejemplo, tomando como referencia una hectárea se encontrarían 3.000 y 8.000 individuos más de *Forcipomyia* en comparación con *Dasyhelea* y *Atrichopogon*, respectivamente. Esa cantidad de polinizadores podría influir significativamente en la polinización de flores (Córdoba *et al.*, 2013).

Por otro lado, se observó que los dípteros del género *Forcipomyia* proliferan mejor en capas de hojarasca más gruesas pero no dependen tanto de la humedad de la misma. En cambio los géneros *Dasyhelea* y *Atrichopogon* serían más dependientes de la humedad. En todos los análisis se reportó una mayor abundancia del *Forcipomyia* (Córdoba *et al.*, 2013).

#### **4.10 FACTORES PARA LA ABUNDANCIA DE POLINIZADORES**

La sombra que provee el dosel superior, en sistemas agroforestales, es un elemento clave para el cultivo de cacao, especialmente en las plantaciones tradicionales que tienen variedades de cacao de tipo forastero; en este contexto, la cantidad, tipo y diversidad de especies forestales para la sombra son elementos clave ya que la falta o carencia de la misma afecta directamente el desempeño del cultivo (Ríos *et al.*, 1997).

En estudios previos se observó que a mayor cantidad de plantas en el dosel, más densa es la sombra, que impide la entrada de luz y disminuye la floración de cacao, lo que desalienta el crecimiento de insectos polinizadores y su actividad de polinización (Young, 1982).

Las condiciones más óptimas para una buena floración se presentan en zonas que tienen precipitaciones superiores a los 80 mm por mes y temperatura alrededor de 28°C. En las zonas de producción de cacao en la región Amazónica la precipitación no es limitante porque llueve casi todo el año, pero la temperatura en sistemas agroforestales puede ser una variable clave ya que bajo el dosel esta puede ser menor a la temperatura ambiente. Por otro lado, una mayor densidad de árboles de cacao hace que haya una mayor cantidad de flores que atraen a los insectos polinizadores (Kaufmann, 1975).

Los resultados encontrados en estudios muestran que existe una relación positiva entre el porcentaje de humedad de la hojarasca del suelo y la abundancia de polinizadores. Indicando que a medida que aumenta la humedad de la hojarasca, aumenta también la abundancia de polinizadores. Esto se debe principalmente a que estos insectos polinizadores requieren de un hábitat húmedo

para reproducirse y alimentar a sus larvas y huevos (Kaufmann, 1975; Azhar y Wahi, 1984), en donde un montón de hojarasca con suficiente humedad les proporciona las condiciones adecuadas para realizar esta actividad. Estudios realizados por Winder también encontraron relación positiva entre la humedad del suelo y la abundancia de polinizadores. Encontrando que las mayores poblaciones de insectos polinizadores de la familia Ceratopogonidae estaban correlacionadas con mayor humedad del suelo y las menores poblaciones con la menor humedad del suelo (Winder, 1977).

La presencia de hojarasca y materia vegetal en descomposición presentan una relación positiva con la abundancia de Ceratopogónidos, por lo tanto, una cobertura de este tipo en el suelo de una plantación de cacao sirve de hábitat para la reproducción de insectos polinizadores (INIAP, 1993).

Los Ceratopogónidos ocupan varios tipos de hábitats; algunas especies eligen ambientes soleados, otras viven solo en hábitats oscuros y fríos, mientras hay otras especies con hábitos intermedios. Los grupos que prefieren lugares iluminados rara vez o nunca visitan las flores del cacao; aquellos con hábitos intermedios son polinizadores ocasionales, pero las especies que prefieren sombra son aquellos que buscan refugio y forman poblaciones permanentes en las plantaciones donde encuentran todos sus requerimientos ecológicos (Kaufmann, 1987).

## 5. CONCLUSIONES

La diversidad de la entomofauna relacionada con la flor del cacao está compuesta por al menos 5 especies de hormigas, 3 especies de Tripsidos, 2 especies de Afidos, 2 especies de Avispas y cerca de 27 especies de Dípteros; en los registros y colecciones disponibles se reportaron casi 24 especies de Dípteros del género *Forcipomyia*.

La diversidad de los insectos que frecuentan las flores del cacao está relacionada con la presencia de nectarios y polen. Estos recursos, atraen mayoritariamente a insectos pequeños, particularmente de individuos del género *Forcipomyia* los cuales también tienen una relación directa con el número de flores que llegan a ser fecundadas.

Al analizar la información recopilada sobre la diversidad de la entomofauna presente en las flores del cacao y su relación con las diferentes variables ambientales se concluye que los sistemas agroforestales favorecen la presencia de un mayor número de especies; sin embargo, el número de flores y la humedad del entorno son variables clave que inciden en la abundancia de los insectos especialmente de polinizadores.

La familia Ceratopogónidae es el grupo más diverso y abundante y, se ha comprobado que al menos tres géneros están relacionados directamente con el número de flores fecundadas; por lo tanto, es el grupo de insectos polinizadores más importante para el árbol del cacao.

A pesar que el género *Forcipomyia* es catalogado como el principal polinizador del cacao los estudios encontrados únicamente se limitan a describir aspectos

relacionados con su abundancia y efectividad como polinizadores; por lo tanto, todavía falta determinar la dinámica específica de este mecanismo, las relaciones ecológicas existentes y la diversidad de especies en diferentes áreas de producción.

El análisis de la diversidad y abundancia de los insectos asociados a la flor de cacao es un aspecto fundamental que debe ser más conocido y estudiado con la finalidad de entender los mecanismos de polinización y favorecer a las poblaciones de polinizadores con buenas prácticas agroecológicas.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios más específicos sobre la ecología relacionada con la polinización del cacao para comprender los procesos de coevolución entre el cacao y sus polinizadores; algunos temas de particular interés están relacionados con la dependencia energética, dinámica de poblaciones, adaptaciones específicas y diversidad.

Estudiar la relación entre el cacao y los insectos polinizadores permitirá avanzar en el conocimiento del funcionamiento de estos sistemas agroforestales como tal; además esta información será de gran utilidad para crear nuevas bases para el manejo apropiado de estos agro-ecosistemas y el desarrollo de buenas prácticas de manejo. En este contexto, es importante complementar las investigaciones con estudios de taxonomía y ecología.

Considerando que los estudios encontrados se han enfocado mayormente en el análisis de la abundancia de Ceratopogónidos, dejando de lado otras especies que también están relacionadas con la flor del cacao, es necesario realizar estudios más profundos sobre ecología floral y fenología para conocer las relaciones ecológicas que se producen en las flores del cacao y las especies que intervienen en las diferentes zonas de producción en Ecuador.

Como parte de los programas de asistencia técnica a productores, es importante promover buenas prácticas de manejo ajustadas a sistemas agroforestales; un aspecto importante es facilitar la presencia y el desarrollo de poblaciones saludables de polinizadores para favorecer la producción sostenible de cacao.

Se recomienda mantener intacta la cobertura de materia orgánica y hojarasca en los cacaotales además de conservar los árboles de sombra. Estas prácticas agrícolas ayudan a mantener poblaciones importantes de insectos del género *Forcipomyia* ya que ellos insectos habitan y se reproducen en estos sustratos.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

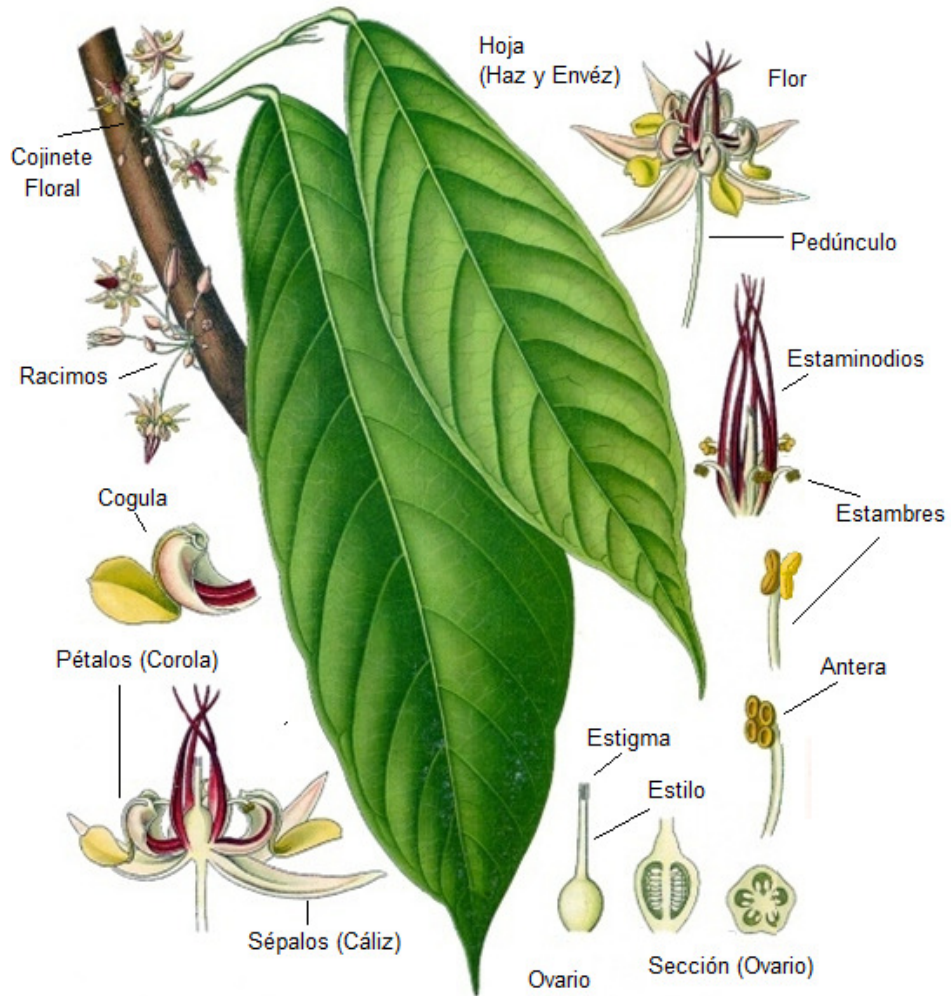
- Abrol, D. P. **Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production**. New York: Springer Science & Business Media, 2011.
- Adjaloo, M., & Oduro, W. Insect assemblage and the pollination System of cocoa (*Theobroma cacao* L). **Journal of applied Bioscience**, 4582-4594, 2013.
- Azhar, I., Wahi, M. Pollination of cocoa in Malaysia: identification of taxonomic composition and breeding sites, ecology and pollinating activities, and seasonal abundance. **The Incorporated Society of Planters**. p. 77-89, 1984.
- Baker, H.G., Baker, I. Ant and Flowers. **Biotropica**, 10(1) 80, 1978.
- Beer, R., Mushler, R., & Somarriba, E. Shade management in coffee and cocoa plantations . **Agroforestry Systems**, 139 – 164, 1998.
- Bentley, B. The protective function of ants visiting the extrafloral nectaries of *Bixa orellana* (Bixaceae). **Journal of Ecology**, 27-28, 1977.
- Borkent, A., & Spinelli, G. Neotropical Ceratopogonidae (Diptera: Insecta). **Aquatic Biodiversity in Latin America**: 130-147, 2007.
- Bos, M. S. Shade tree management affects fruit abortion, insect pests and pathogens of cacao. **Agriculture Ecosystems and Environment**, 201-205, 2007.
- Buchmann, N. Services Provided by Pollinators, Chapter 8, G. Daily (ed.),. **Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems**, 133-150, 1996.
- Campbell, N., & Reece, J. **Biología**. Madrid: Médica Panamericana S.A., 2007. 235p
- Cheeseman, E. The economic botany of cacao. **Tropical Agriculture Sup.**, v. 9, 10-16, 1930.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Theobroma cacao*, **CONABIO**, Mexico. 253-258, 2010.
- Committee on the status of pollinators in North America. **Status of pollinators in North America**. Washington: The National Academies Press, 2007.
- Córdoba, C., Cerda, R., Deheuvels, O., Hidalgo, E., & Declerck, F. Polinizadores, Polinización y Producción Potencial de Cacao en Sistemas Agroforestales de Bocas del Toro, Panamá. **Agroforestería en las Américas** N° 49, 26-32, 2013.
- Curtis, H., & Schnek, A. Curtis. **Biología**. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana, 2008. 240p

- De la Cruz, J., & Soria, S. Estudio de Fluctuaciones de Polinización de Cacao por las Mosquitas Forcipoyia spp. (Diptera, Ceratopogonidae), en Palmira, Valle, Colombia. **Acta Agronómica**. 23, 1-17, 1973.
- Enríquez, G. A. **Curso sobre el Cultivo de Cacao**. Turrialba: Bib. Orton IICA / CATIE, 1985.
- Entwistle, P. Pests of Cacao. London: **Logman first edition**, 103, 1972.
- Estación Experimental Central de la Amazonía. Análisis de la cadena de cacao y perspectivas de los mercados para la Amazonía Norte. **INIAP**. 153, 11-13, 2009.
- Fajardo M., Zavaleta H., Córdova L., López A., Delgado A., Vidales I., & Villegas A. Anatomía e histoquímica de la semilla del cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo mexicano. **Fitotec**. Mex. Vol. 35 (3): 189-197, 2012.
- Feinsinger, P., & Swarm, L. How common are ant-repelent nectars? **Biotrópica**, 239, 1978.
- Goitia, W., Bosque, C., & Jaffe, K. Interacciones Hormigas-Polinizador en Cacao. **Turrialba**, 42: 178-186, 1992.
- Gots, S., & Harvey, C. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. **Biodiversity and Conservation**. Ed Springer Vol 16 (8), 2007.
- Harland, S. The method of pollination. **Studies in cacao**, 61-69, 1924.
- IICA/CATIE. **Informe Técnico 1964**. Turrialba: ORTON. IICA / CATIE, 1964
- INIAP. **Manual del Cultivo de Cacao**. Quito: Sección de Comunicación del INIAP, 1993.
- Jaffe, K., Tablante, A., & Sánchez, P. Ecología de Formicidae en plantaciones de *Theobroma cacao*. **Revista Theobroma**, 189-197, 1986.
- Jaimez, R., Tezara, W., Coronel, I., & Ulrich, R. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agro forestal. **Revista Forestal Venezolana**, 253 – 258, 2008.
- Janzen, D. Why don't ants visit flowers? **Biotrópica**, 1977
- Kaufmann, T. Ecology and behavior of cocoa pollinating Ceratopogonidae in Ghana, W. Africa. **Environmental Entomology**, 347-351, 1975
- Kaufmann, T. Effects of insect pollinators on fruit set of cocoa flowers. **International Cocoa Research Conference**, 303-306, 1987.
- Kearns, C., Inouye, D., & Waser, N. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator Interactions. **Annual review of Ecology and Systematics**, 29: 83-112, 1998.
- Kohler, F. **Wikimedia Commons, the free media repository**. Obtenido de [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theobroma\\_cacao\\_-\\_K%C3%B6hler%20%80%93s\\_Medizinal-Pflanzen-136.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theobroma_cacao_-_K%C3%B6hler%20%80%93s_Medizinal-Pflanzen-136.jpg)

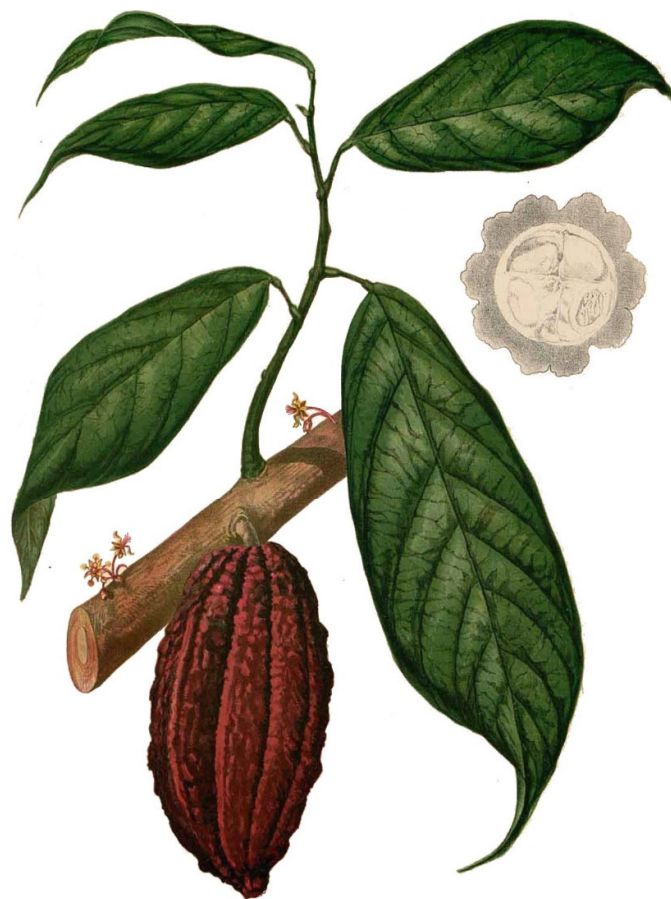
- Leston, D. Entomology of the cocoa farm. **Annual Review of Entomology**, 311-314, 1970
- MARS, USDA-ARS, IBM, NCGR, Clemson University, HudsonAlpha Institute for Biotechnology, Indiana University and Washington State University. Consultad el 15 de Enero de 2015. **Cacao Genome Database**. Obtenido de [www.cacaogenomedb.org](http://www.cacaogenomedb.org)
- Narváez, Z., & Marín, C. Abundance of ceratopogonids (Diptera) in a cacao plantation (*Theobroma cacao*), at Chuao, Edo. Aragua, Venezuela. **Agrotropica** 8, 15-22, 1996.
- Pesantes, D. Información sobre polinización de algunos arbustos y árboles de importancia agrícola y apícola. **Universidad de Puerto Rico**, 11-14, 2011.
- Price, P. **Insect Ecology**. Arizona: John Wiley & Sons, 1997.
- Ramos, R. Estudio de la Diversidad de Insectos Polinizadores en Sistemas Agroforestales de Cacao y su Relación con la Productividad y Diversidad de Especies de Dosel. San Pedro de Sula: **Universidad de San Pedro de Sula**, 2011.
- Raven, P., Evert, R., & Eichhorn, S. Biología de las Plantas, Volume 2. Barcelona, **Reverte**, 392, 2004.
- Richards, A. Plant Breeding Systems. London: **Paston Press**, 1986.
- Ríos, F., Gavilanes, M., Melo, C., & Acosta, N. **Diagnostico biológico de plantaciones de cacao**. Quito, 1997.
- Ríos, F. El Origen y Uso Temprano del Cacao. Quito: **Programa ACDI VOCA LBD**, 2011.
- Ríos, F. **Estrategia para la Promoción de Exportaciones de Cacao Ecuatoriano**. Quito: PROECUADOR, CORPEI, 2013.
- Sánchez, P., Morillo, F., & Muñoz, W. Las especies de *Forcipomyia*, Meigen (Diptera: Ceratopogonidae) polinizadoras del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Colección de la Estación Experimental del INIA-Miranda, Venezuela. **Entomotropica**, 147-148, 2001.
- Soetardi, R. The importance of insects for the pollination of *Theobroma cacao* L. . Indonesia: **Archives of Cocoa Research**, 1950.
- Soria, S. Studies on *Forcipomyia* spp. Midges (Dipteral, Ceratopogonidae) related to the pollination of *Theobroma cacao* L. Wisconsin: Thesis Ph.D. **University of Wisconsin**, 1970.
- Soria, S. **Las relaciones de variables climáticas y bióticas con la dinámica de poblaciones de *Forcipomyia* spp.** (Diptera, Ceratopogonidae) y la polinización del cacaotero en Bahía, Brasil. 425, 1977.

- Soria, S., Wirth, W., & Chapman, K. Insect pollination of cacao in Costa Rica. Preliminary list of the ceratopogonid midges collected from flowers. **Revista Theobroma**, 61-68, 1980.
- Stejskal, M. Nectar and aroma of the cacao flower. **Oriente Agropecuario**, 1(2): 7592., 75 – 92, 1969.
- Summer, H. Cocoa Pollination. New York: **Oxford University Press**, 1962.
- Taylor, B. The ant mosaic on cocoa and other tree crops in Western Nigeria. **Ecological Entomology**, 245-255, 1977.
- Theobroma cacao**. Disponible en:  
<http://www.juliemcenerny.com.au/svmanager/g15/images/Theobroma%20cacao%20web.jpg> [fecha de consulta: 20 de marzo de 2015].
- Valdéz, F. Primeras Sociedades de la Alta Amazonía. Quito: **Institut de Recherche pour le Développement – IRD**, 2013
- Winder, J. Recent research on insect pollination of cocoa. **Cocoa Growers Bulletin**, 26: 11-19, 1977.
- Young, A. Effects of shade cover and availability of midge breeding sites on pollinating midge population and fruit set in two cocoa farms. **Journal of Applied Ecology**, 47-63, 1982.
- Young, A. 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**: 20, 801-828, 1983.
- Young, A. Habitat differences in Cocoa tree flowering, fruit set, and pollinator availability in Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, 163-186, 1986.

## 8. FIGURAS



**Figura 1. Estructura floral de *Theobroma cacao* y descripción de su partes (Kohler, 1897).**



THEOBROMA CACAO.—LINN.—Blanco.—DC.

**Figura 2. Detalle del tronco, fruto, flor y hojas de *Theobroma cacao*.**  
<http://www.juliemcenery.com.au/svmanager/g15/images/Theobroma%20cacao%20web.jpg>

## 9. TABLAS

**Tabla 1.** Especies de insectos registradas en flores de cacao (Soria *et al.*, 1980).

<b>Especies</b>	<b>Número de especímenes</b>
<i>Forcipomyia blantoni</i>	241
<i>Forcipomyia</i> spp.	27
<i>Dasyhelea</i> spp.	17
Cecidomyiidae	15
<i>Atrichopogon</i> spp.	10
Thysanoptera	10
<i>Forcipomyia nana</i>	8
<i>Forcipomyia</i> spp.	8
<i>Metaforcipomyia</i> spp	2
<i>Culicoides</i> spp	2
Chironomidae	2
<i>Forcipomyia</i> spp.	1
<i>Forcipomyia fuliginosa</i>	1
<i>Forcipomyia stylifera</i>	1
<i>Brachypogon</i> spp.	1
Psychodida sp.	1
Sphaeroceridae sp.	1

En la tabla se puede apreciar que en los registros realizados se determinó una presencia dominante de dípteros del género *Forcipomyia* pues se encontraron 289 de 348 individuos registrados; por otro lado, se registraron un total de 17 especies, de las cuales 8 corresponden al género *Forcipomyia*.

**Tabla 2.** La colección identificada de Ceratopogonidae, polinizadores de cacao, depositada en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), en Caucagua, Estado Miranda (Sánchez *et al.*, 2011).

<b>Especies</b>	<b>Estados de colecta</b>
<i>Forcipomyia spatulifera</i>	Amacuro, Miranda, Táchira
<i>Forcipomyia brachyrhynchus</i>	Amacuro, Aragua, Sucre
<i>Forcipomyia quasiingrami</i>	Amacuro, Apure, Miranda.
<i>Forcipomyia genualis</i>	Amacuro, Apure, Aragua, Barinas, Carabobo, Dtto. Federal, Mérida, Miranda, Sucre, Táchira, Yaracuy.
<i>Forcipomyia harpegonata</i>	Amacuro, Apure, Aragua, Carabobo, Miranda, Sucre Táchira, Yaracuy.
<i>Forcipomyia pictoni</i>	Apure, Aragua, Dtto. Federal, Miranda, Táchira, Yaracuy.
<i>Forcipomyia quatei</i>	Apure, Táchira
<i>Forcipomyia cornuta</i>	Apure, Táchira.
<i>Forcipomyia setigera</i>	Aragua, Sucre
<i>Forcipomyia pinamerensis</i>	Aragua, Yaracuy
<i>Forcipomyia luteigenua</i>	Aragua.
<i>Forcipomyia winderi</i>	Aragua, Miranda, Yaracuy
<i>Forcipomyia sp.</i>	Aragua.
<i>Forcipomyia marini</i>	Aragua, Carabobo, Yaracuy. (Holotipo, Alotipo).
<i>Forcipomyia uramaensis</i>	Carabobo (Holotipo).
<i>Forcipomyia longispina</i>	Miranda, Táchira.
<i>Forcipomyia blantoni</i>	Miranda, Sucre.
<i>Forcipomyia seminole</i>	Miranda, Yaracuy.
<i>Forcipomyia squamithorax</i>	Miranda, Yaracuy.
<i>Forcipomyia louriei</i>	Miranda.
<i>Forcipomyia hermosa</i>	Miranda.
<i>Forcipomyia terrestres</i>	Miranda.
<i>Forcipomyia attenuata</i>	Táchira.
<i>Forcipomyia aeria</i>	Táchira.
<i>Monohelea affinis</i>	Miranda.
<i>Atrichopogon sp.</i>	Apure, Miranda, Táchira.
<i>Stilobezzia sp.</i>	Táchira

Nota: Las tres últimas especies no están registradas como polinizadores del cacao, pero están asociadas al bosque cacaotero.

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Diego Frans Ríos Sevilla, CI 1711753747 autor del trabajo de graduación intitulado: “Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de *Theobroma cacao*”, previa a la obtención del grado académico **de LICENCIADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en la Facultad de **Ciencias Exactas y Naturales**:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 23 de febrero de 2015

Sr. Diego Frans Ríos Sevilla

1711753747

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de  
*Theobroma cacao***

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado  
en Ciencias Biológicas**

**DIEGO FRANS RÍOS SEVILLA**

**Quito, 2015**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de  
*Theobroma cacao***

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado  
en Ciencias Biológicas**

**DIEGO FRANS RÍOS SEVILLA**

**Quito, 2015**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Biológicas, del Sr. Diego Frans Ríos Sevilla ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Msc. Alvaro Barragán

Quito, 27 de marzo de 2015

**TABLA DE CONTENIDO**

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
4. DESARROLLO TEÓRICO.....	7
4.1 EL CULTIVO DEL CACAO EN ECUADOR.....	7
4.2 EL ORIGEN DEL CACAO.....	8
4.3 DESCRIPCIÓN DE <i>Theobroma cacao</i> .....	10
4.3.1 BIOLOGÍA FLORAL.....	13
4.3.2 LA ESTRUCTURA DE LA FLOR DEL CACAO.....	16
4.3.3 EL POLEN DEL CACAO.....	17
4.4 ECOLOGÍA DEL ÁRBOL DE CACAO.....	18
4.5 LA POLINIZACIÓN DEL CACAO.....	22
4.6 DIVERSIDAD DE INSECTOS EN LA FLOR DEL CACAO.....	25
4.7 DIVERSIDAD DE INSECTOS POLINIZADORES DEL CACAO.....	27
4.8 FACTORES PARA LA DIVERSIDAD DE POLINIZADORES.....	33
4.9 LA ABUNDANCIA DE LOS POLINIZADORES.....	33
4.10 FACTORES PARA LA ABUNDANCIA DE POLINIZADORES.....	35
5. CONCLUSIONES.....	37
6. RECOMENDACIONES.....	39
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Estructura floral de *Theobroma cacao* y descripción de sus partes.....46
- Figura 2.** Detalle del tronco, fruto, flor y hojas de *Theobroma cacao*.....47

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Especies de insectos registradas en flores de cacao.....	49
<b>Tabla 2.</b> La colección identificada de Ceratopogonidae, polinizadores de cacao, depositada en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).....	50

## 1. RESUMEN

El cacao *Theobroma cacao*, se origina en las selvas tropicales de Suramérica, específicamente desde una zona compartida entre la Amazonia de Ecuador, Colombia y Perú; el cultivo tradicional de cacao se realiza bajo sistemas agroforestales que, además de ser biodiversos, también albergan poblaciones importantes de insectos.

La entomofauna asociada a la flor del cacao juega un papel muy importante en los mecanismos de polinización debido a que la flor del cacao tiene estructuras que evolutivamente corresponden a una flor especializada, por lo tanto, su diseño funcionalmente atrae a pocas especies de insectos, con los cuales ha desarrollado una estrategia de mutualismo; en esta interacción, la flor provee néctar en cantidades reducidas que está disponible únicamente en cortos periodos de tiempo, para insectos diurnos de tamaño pequeño, quienes a cambio contribuyen con el proceso de polinización en el momento en el que la flor esta lista para ser fecundada.

Después de haber analizado varias fuentes bibliográficas se ha determinado que la diversidad de la entomofauna asociada a la flor del cacao es reducida y está compuesta por al menos 34 especies de insectos; sin embargo, 25 de las especies reportadas corresponden al orden Díptera, familia Ceratopogonidae; en este grupo, al menos tres especies son las responsables en mayor grado del proceso de polinización.

En el presente análisis, se concluye que la diversidad y abundancia de los insectos asociados con la flor del cacao juegan un papel fundamental en el

proceso de polinización, sin embargo, hasta ahora en Ecuador se conoce muy poco sobre la ecología de la polinización del cacao y específicamente detalles acerca de las especies que intervienen.

**Palabras clave:** cacao, diversidad, entomófila, insectos, polinización

## 2. ABSTRACT

*Theobroma cacao*, is native from the rainforests of South America, specifically from the amazonian areas of Ecuador, Colombia, and Peru; traditional cocoa cultivation is performed under agroforestry systems, which besides being biodiverse are also house of an important number of insect populations.

The diversity and abundance of insects associated with cacao flowers play an important role in pollination, the cacao flower contains very specialized structures that make their design attractive to a restricted group of insect species. Moreover, a mutualistic relationship has evolved, in which the flower provides nectar in small quantities and only available for short periods of time for small diurnal insects who in return contribute to the pollination process when the flower is ready to be fertilized.

After compiling and analyzing various literature it has been determined that the diversity of the insect fauna associated with cacao flower is small and consists of at least 34 species of insects, moreover 25 species reported correspond to the order Diptera, Ceratopogonidae family; within this group at least three species are responsible in greater degree of the pollination process.

After this thorough analysis, it is concluded that the diversity and abundance of the insects associated to the cacao flower play a key role in the pollination process. However, little is known in Ecuador regarding the ecology nature of the process itself and specifically which are the species that intervene.

**Keywords:** cacao, diversity, entomophilous, insects, pollination

### 3. INTRODUCCIÓN

Las primeras plantas con flores, o angiospermas, aparecieron aproximadamente hace 130 millones de años, durante la primera mitad del período Cretácico y hacia finales de la era Mesozoica (Curtis y Schnek, 2008); actualmente, son el grupo más grande y más importante de plantas desde el punto de vista ecológico y económico ya que configuran la mayoría de los hábitats terrestres en el planeta y proveen alimento y refugio para los organismos que los habitan (Pesantes, 2011).

La polinización realizada por animales es un mecanismo muy importante para el desarrollo de los ecosistemas, tanto desde el punto de vista biológico como económico (Kearns *et al.*, 1998). Se estima que cerca del 90% de las 300.000 especies de angiospermas son polinizadas por animales (Richards, 1986), siendo los insectos el 90% de los polinizadores (Buchmann, 1996).

En las plantas con flor, la polinización realizada por insectos o polinización *entomófila*, es un mecanismo de mutualismo que ha generado varias ventajas para su reproducción y sobrevivencia; en este contexto, mientras más atractivas son las flores para los insectos, resultan más visitadas por ellos y consecuentemente más polinizadas. En este proceso evolutivo se originaron estructuras como los nectarios y los osmóforos, órganos productores de néctar y olores respectivamente, que tienen la función de atraer a los polinizadores a cambio de nutrientes y otros beneficios (Curtis & Schnek, 2008).

La atracción de los polinizadores también implicó la presencia de otros insectos depredadores; por lo tanto, la protección del óvulo fue necesaria a través de la evolución de estructuras como el carpelo cerrado y posteriormente de un

ovario ínfero. Los grupos de insectos especializados en la polinización evolucionaron conjuntamente con las angiospermas durante 50 millones de años, por lo tanto, los insectos polinizadores actualmente son muy abundantes diversos en el planeta y contribuyeron directamente en la diversificación de las angiospermas (Raven *et al.*, 2004).

Cuando una planta es polinizada por organismos, ésta tiende a especializarse en base a las características morfológicas de estos visitantes; en este contexto, muchas modificaciones de las flores han sido desarrolladas como adaptaciones evolutivas que favorecen a los polinizadores (Raven *et al.*, 2004).

La polinización entomófila es realizada por varios tipos de insectos, principalmente por escarabajos, mariposas, abejas, avispas y moscas; en todos los casos, las adaptaciones desarrolladas por las plantas son mecanismos de mutualismo que favorecen a ambos organismos (Kearns *et al.*, 1998).

En términos generales la polinización entomófila es un proceso fundamental en varios cultivos de importancia agrícola. Se estima que alrededor del 30% de los productos de consumo tales como aceites comestibles, medicinas y fibra que utiliza el ser humano dependen de animales polinizadores (Committee on the status of pollinators in North America North America, 2007).

Entre los cultivos de importancia agrícola se encuentra el árbol del cacao, *Theobroma cacao*, el cual posee flores pequeñas con adaptaciones especiales fundamentalmente para una polinización entomófila. Varios estudios han demostrado que los polinizadores del cacao pertenecen principalmente al orden Díptera, siendo la familia Ceratopogonidae la de mayor importancia (Young, 1986).

Por otro lado, el cultivo tradicional de cacao se ha basado en el establecimiento de sistemas agroforestales, en los cuales los productores incorporan una gran variedad de árboles, especialmente forestales y frutales, de los que obtienen diferentes productos para su subsistencia como alimentos y madera. Esta configuración favorece al cultivo del cacao ya que naturalmente es una especie que evolucionó bajo un dosel de bosque (Ramos, 2011). Es importante destacar que los sistemas agroforestales también generan una serie de beneficios, tanto para los productores como para el medio ambiente como la conservación de la biodiversidad (Rios *et al.*, 1997).

## 4. DESARROLLO TEÓRICO

### 4.1 EL CULTIVO DEL CACAO EN ECUADOR

El cacao se cultiva en zonas tropicales alrededor del mundo principalmente en América, África y Asia; el cacao para Ecuador es un producto de identidad territorial pues además de ser originario de la región amazónica, también dominó por varios siglos la generación de divisas para el país, antes del boom petrolero, dando lugar al apareamiento de los primeros capitales y desarrollando sectores importantes como la banca, la industria y el comercio (Ríos, 2013).

Actualmente, Ecuador es el quinto productor mundial de cacao con una cosecha anual que alcanzó las 230 mil toneladas métricas en el 2014; constituye una de las principales actividades agrícolas de más de 100.000 pequeños agricultores en zonas rurales de la costa y Amazonia. Las exportaciones de cacao y semi-elaborados generaron cerca de 530 millones de dólares en el año 2014. Se estima que en Ecuador se cultivan alrededor de 450.000 hectáreas de cacao, las cuales en su mayor parte se manejan bajo sistemas agroforestales que mantienen una importante cobertura de sombra. El promedio de producción de cacao seco a nivel nacional es de 6 quintales por hectárea al año el cual es un rendimiento muy bajo en comparación a otros países productores. Entre los principales factores que inciden en el desempeño productivo y el rendimiento del cultivo están la falta de manejo agronómico y la presencia de plagas y enfermedades (Ríos, 2013).

Ecuador por tradición es un importante productor de cacao; y en la actualidad, es reconocido internacionalmente por ser el país proveedor del 70% de la producción mundial de cacao fino y de aroma; el cacao proveniente de las

distintas zonas de producción se diferencia por tener una gran variedad de sabores característicos de cada región (Ríos, 2013).

El cultivo tradicional del cacao implica la asociación con otros árboles que proporcionan la sombra necesaria para su óptimo desarrollo y producción; por lo tanto, estas plantaciones de cacao son sistemas agroecológicos que a su vez generan varios servicios ambientales ya que favorecen la diversidad de especies de flora y fauna típicas de las zonas de producción, funcionan como zonas de amortiguamiento en áreas naturales, facilitan la conectividad entre remanentes de vegetación, aportan con la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico, y funcionan como refugio para varias especies de aves migratorias (Ríos *et al.*, 1997).

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 (Gots y Harvey, 2007). Por otro lado, la diversidad y abundancia de insectos polinizadores en los sistemas agroforestales de cacao puede estar influenciada por varias causas; entre ellas, el ambiente biótico y físico (clima y microclima) y características de las plantaciones, como la cobertura y espaciamiento de los árboles de sombra (Bos, 2007).

#### **4.2 EL ORIGEN DEL CACAO**

Desde el siglo pasado se han propuesto varias teorías sobre el origen y la domesticación del árbol de cacao; en la actualidad, mediante el uso de modernas técnicas de análisis genético y gracias al trabajo multidisciplinario de varios científicos, botánicos, agrónomos y antropólogos se han recopilado evidencias y

hallazgos sorprendentes sobre el origen, domesticación y uso temprano del cacao (Ríos, 2011).

El origen de esta especie corresponde a la región amazónica (cuenca alta del río Amazonas) y comprende países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil. En esta región es donde se presenta la mayor variación de la especie. Desde este origen el cacao se extendió hasta llegar a Centroamérica, pero no se sabe si su dispersión ocurrió naturalmente o con la ayuda del hombre. Sigue siendo un misterio el cómo llegó a esta región, donde se ha cultivado por lo menos durante 3.000 años. El cacao también se llevó de Brasil a la colonia portuguesa de Príncipe en 1822 y de ahí a Sao Tomé en 1830, ambas en el Golfo de Guinea. Ghana obtiene el cacao en 1879 y por el año de 1951, actualmente el oeste de África produce más del 60 % de la producción mundial de cacao (Ríos, 2011).

Sin embargo, existieron varias teorías sobre el origen del cacao que se plantearon en el siglo pasado. Por ejemplo, el científico Ruso Nikolay Vavilov, padre de la fitogeografía aplicada propuso la teoría de los centros de origen proponiendo que el origen del cacao estaba en mesoamérica; poco tiempo después, el Dr. F.J. Pound, agrónomo e investigador de Trinidad y Tobago realizó una extensa recolección de variedades de cacao en la cuenca del Amazonas y posteriormente, en año 1944 el científico E. Chessman analiza esta información y propone que el origen del cacao se encuentra en el alto Amazonas en una zona de influencia de alrededor de 400 km de radio en las cercanías de los ríos Napo, Putumayo y afluentes del río Amazonas (Ríos, 2011).

Recientemente, estudios genéticos realizados por el Agrónomo tropical J.C. Motamayor en el año 2008, permitieron reconocer la presencia de 10 grupos genéticos de cacao, los cuales también presentan una correspondencia con el origen geográfico propuesto por Chessman (Estación Experimental Central de la Amazonía, 2009). Se confirma nuevamente que desde el alto Amazonas, ocurrió la dispersión del cacao en tres direcciones Centroamérica, oeste Sudamericano y este Sudamericano (Ríos, 2011).

Hallazgos todavía más sorprendentes, en estudios realizados por científicos ecuatorianos y franceses, revelan el descubrimiento de evidencias arqueológicas contundentes en la cultura Mayo Chinchipe, que datan de hace 3.300 años AC (5.300 años hasta la actualidad). En las excavaciones de esta milenaria cultura ubicada en la actual localidad de Santa Ana, La Florida, del cantón Palanda, Provincia de Zamora Chinchipe se han registrado residuos de cacao en cerámicas y piedras. Este hallazgo que tiene una importancia de carácter global, pues constituye el registro más antiguo del uso del cacao por el ser humano, incluso 2.300 años antes de los registros en las culturas mesoamericanas (Valdéz, 2013).

#### **4.3 DESCRIPCIÓN DE *Theobroma cacao***

El árbol del cacao pertenece al orden Malvales, familia Malvaceae, subfamilia Sterculioidea, género *Theobroma*, el cual está conformado por unas 30 especies (Estación Experimental Central de la Amazonía, 2009). La especie *Theobroma cacao* es la más conocida del género debido a su actual distribución e importancia económica y social. El cacao comercial *Theobroma cacao* ha sido clasificado en tres complejos genéticos amplios denominados: criollos, forasteros y trinitarios (INIAP, 1993).

La morfología del árbol de cacao presenta las siguientes características:

Estructura.- Es un árbol de dosel medio, perennifolio, de 4 a 6 m de altura en cultivos bajo sistemas agroforestales y de 3 a 4 m en plantaciones comerciales a pleno sol. El cacao silvestre puede crecer hasta 20 m o más (CONABIO, 2010).

Dosel.- Copa baja, densa y extendida; las hojas son grandes, alternas, colgantes, lámina elíptica, de 20 a 35 cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, ápice agudo, ligeramente coriáceas, margen liso, haz de color verde oscuro y envés de color verde claro y pecioladas. Las plantas que se encuentran en etapa de desarrollo inicial desarrollan hojas grandes de color marrón intenso en los brotes terminales (INIAP, 1993).

Tronco y Ramas.- El tronco tiene un crecimiento horizontal y vertical, con brotes ortotrópicos o chupones que se desarrollan rápidamente en época lluviosa. Las ramas presentan un crecimiento predominantemente plagiotrópico o en abanico. Las ramas primarias se forman en verticilos terminales con 3 a 6 ramillas; al conjunto se le llama molinillo. Es una especie cauliflora, es decir, las flores se desarrollan sobre el tronco o las viejas ramificaciones (INIAP, 1993).

Corteza.- Es de estructura leñosa de color castaño oscuro, agrietada, áspera y delgada en estadios iniciales de desarrollo. La parte interna es de color café y presenta abultamientos denominados cojinetes florales (INIAP, 1993).

Flores.- Se desarrollan en los cojinetes florales en racimos a lo largo del tronco y de las ramas, están sostenidas por un pedicelo de 1 a 3 cm. La flor del cacao tiene una estructura pentámera, de color blanco o violeta claro, su tamaño es de 0.5 a 1 cm de diámetro y 2 a 2.5 cm de largo (INIAP, 1993; CONABIO, 2010).

Fruto.- Es una baya de tamaño, color y forma variada, comúnmente denominada "mazorca", su corteza es dura, generalmente oblonga, ovalada o amelonada, de color amarillo, rojo o purpúrea, de 15 a 30 cm de largo por 7 a 10 cm de ancho, superficie lisa o rugosa con comisuras longitudinales (Figura 2); cada mazorca contiene entre 30 y 40 semillas dispuestas en placentación axial y cubiertas de una pulpa (CONABIO, 2010).

Semilla.- De tamaño variado con dos cotiledones de color púrpura, de 2 a 3 cm de largo y de sabor amargo. Están recubiertas por una pulpa de color blanco y de sabor dulce y acidulado. Las semillas de cacao son ricas en almidón, proteínas, grasa oleica y sustancias antioxidantes (Enríquez, 1985). *Theobroma cacao* no desarrolla un arilo pero la pared de su fruto se mantiene unida la testa hasta la madurez, de manera que la pulpa del fruto está tan unida a la semilla que podría confundirse con un arilo (Fajardo *et al.*, 2012).

Raíz.- El cacao posee una raíz pivotante que en condiciones favorables puede penetrar más de 2 m de profundidad, favoreciendo el reciclaje de nutrientes y de un extenso sistema superficial de raíces laterales distribuidas alrededor de 15 a 30 cm por debajo de la superficie (INIAP, 1993).

Genoma.- El genoma del cacao es diploide y comprende 10 pares de cromosomas. En la secuencia del genoma de cacao se han identificado 28.798 genes codificadores de proteínas (MARS *et al.*, 2015).

Adaptación.- Especie de fácil adaptación. Presenta una gran variabilidad genética y adaptación a distintos pisos térmicos, en condiciones muy variables de clima y suelo (Enríquez, 1985).

### 4.3.1 BIOLOGÍA FLORAL

La relación existente entre insectos y plantas con flor es el mutualismo, esta característica es tan fuerte que sería difícil imaginar a las angiospermas actuales sin la presencia de insectos polinizadores. El néctar que producen las flores contiene sustancias como la sucrosa, glucosa, fructosa y en algunos casos aminoácidos. El néctar y el polen no son los únicos beneficios que produce una flor para sus polinizadores, otras estructuras de la flor también pueden producir sustancias como resinas, aceites, exudados e incluso atrayentes sexuales (Price, 1997).

Especies como el cacao dependen en gran medida de relaciones mutualistas, generadas con sus polinizadores (planta-polinizador) y en estado natural con las especies que funcionan como dispersores de semillas (Price, 1997). Existen dos hipótesis que sustentan este hecho:

- 1) Los insectos polinizadores permiten el cruzamiento genético de especies de plantas incluso en individuos que están dispersos o aislados.
- 2) La dependencia de insectos polinizadores se vuelve importante en especies en las que la dispersión de sus semillas ha sido posible por especies como las aves.

Si bien el néctar de las flores es una fuente importante de energía para los polinizadores, esto también implicaba que las fuentes de proteína debían ser encontradas en otras fuentes; sin embargo, si el abastecimiento de proteína podría darse en las mismas flores esto haría que los insectos sean más eficientes en la alimentación y en la polinización. En los estudios realizados por Baker y Baker (1978) se encontraron concentraciones significativas de aminoácidos en

266 especies de flores con lo cual determinó que este hecho no es una característica fortuita sino más bien una importante adaptación evolutiva (Price, 1997).

Sin embargo, en flores poco especializadas tanto el néctar como el polen están disponibles para todos los polinizadores por lo tanto no es necesario contar con un suplemento de aminoácidos en el néctar (Price, 1997).

La evolución en las flores tiende a restringir las visitas de ciertas poblaciones de polinizadores a una sola especie, lo cual implica una adaptación especializada para las dos partes (Price, 1997).

Por otro lado, los polinizadores no se restringen a visitar una sola planta y por lo tanto, la cantidad de néctar secretado por cada flor y por toda la planta en un tiempo determinado debe ser ajustado de manera precisa (Price, 1997).

Finalmente, una planta únicamente puede controlar la recompensa calórica con relación a un determinado organismo ya que cada organismo tiene diferentes requerimientos energéticos (Price, 1997).

El cacao es una planta cauliflora ya que sus flores se forman principalmente en el tronco principal y en las ramas secundarias en estructuras denominadas cojinetes o almohadillas florales. Las estructuras florales nacen endógenamente del floema. Típicamente, el período desde el momento en el que emerge un botón floral hasta su apertura es de aproximadamente 30 días y este proceso está influenciado directamente por los factores climáticos del entorno.

Normalmente, hay una fuerte producción de flores con las primeras lluvias después de una época seca; esto hace que en algunas zonas productivas los

períodos de cosecha sean muy marcados y definidos; sin embargo, en otras zonas no existen períodos de lluvia y sequía marcados, por lo tanto, la floración es permanente y está influenciada principalmente por las horas de luz (Enríquez, 1985).

El botón de una flor de cacao inicia su apertura después del mediodía, este proceso inicia con movimientos muy lentos de los sépalos que dan paso a su separación, la hora en la que se produce la mayor apertura de los botones es al finalizar la tarde (5:00 pm) especialmente cuando hay menos humedad y más luz; este proceso continúa durante toda la noche. En general, las anteras ya están abiertas en la mañana y los granos de polen listos para el proceso de fecundación (Enríquez, 1985).

Una planta de cacao produce en promedio  $4554 \pm 687$  flores en seis meses, en donde la polinización efectiva, que posteriormente formará un fruto, es de solo el 5,2% (Abrol, 2011). Entre los factores más importantes que afectan la producción está el ataque de enfermedades fungosas como la monilia que es producida por el hongo (*Moniliophthora roreri*), y las variaciones en las poblaciones de insectos polinizadores que pueden estar relacionadas con el manejo del cultivo (Young, 1982).

El grano de polen del cacao es pequeño, esférico y pegajoso y por estas características se agrupa para formar conglomerados que tienen varios cientos de granos. En varios estudios realizados se reporta que el polen del cacao es transportado por un número reducido de insectos, principalmente de algunas especies del género *Forcipomyia* y en algunos casos tripsidos del género *Frankliniella* (Enríquez, 1985).

En estudios previos se ha demostrado que al menos la mitad de los insectos encontrados en un agro ecosistema de cacao no visitan la flor de cacao; por otro lado, varios de los visitantes no acarreaban polen, únicamente insectos del grupo de los Ceratopogonidae del orden Díptera fueron identificados como importantes polinizadores de la flor de cacao. El ecosistema de cacao puede albergar una gran diversidad de insectos; sin embargo, la evolución de la estructura floral restringe el acceso a la mayoría de insectos y permite únicamente que unos pocos puedan realizar el trabajo de polinización (Adjaloo y Oduro, 2013).

#### **4.3.2 LA ESTRUCTURA DE LA FLOR DEL CACAO**

La flor del cacao (Figura 1) es hermafrodita o perfecta ya que posee todas las estructuras masculinas y femeninas; su longitud varía de 1 a 3 centímetros, con un diámetro que fluctúa entre 0,5 y 1 centímetro; su fórmula floral es (INIAP, 1993):

**\*;S5; P5; E5 + 5°; G(5); baya**

\*: Flor con estructura radial.

S5: Cáliz formado por cinco sépalos carnosos de color blanco o rosado fusionados en la base, se abren para formar una base que protege el resto de la estructura floral.

P5: La corola posee 5 pétalos, de 6 a 9 milímetros que están alternados con los sépalos y presentan una estructura a manera de pliegue denominada cógula o concha que es de color blanco y posee dos nervaduras que le dan resistencia. Esta estructura funciona como una capsula que cubre a las anteras.

E5 + 5°: Corresponde al androceo o parte masculina de flor, está conformado por 5 estambres fértiles y 5 estaminodios alargados que rodean y protegen al pistilo.

Los estambres están protegidos por una estructura capsular denominada cógula. Las anteras poseen 4 sacos de polen con dehiscencia longitudinal.

G(5): El órgano femenino de la flor o gineceo está formado por el pistilo el cual tiene tres partes (estigma, estilo y ovario). El ovario es súpero y está compuesto por 5 carpelos con una placenta central conectada a los óvulos que pueden estar en un número de 30 a 50.

La flor del cacao posee estructuras que están hechas para impedir una polinización fácil, pues su polen no está al alcance de todos los insectos que la visitan o se alimentan de ella; especies de Hymenopteros como la abeja común o los melipóninos, por ejemplo, son incapaces de impregnarse de polen de cacao debido a la barrera física que crean los pétalos sobre las anteras (Figura 1). El viento tampoco es un buen factor de polinización, porque el polen del cacao se humedece rápidamente en la selva y por lo tanto adquiere peso y cae (Córdoba *et al.*, 2013).

#### **4.3.3 EL POLEN DEL CACAO**

Las flores polinizadas por insectos producen gran cantidad de polen que a menudo es liso y pequeño (Raven *et al.*, 2004).

En general la viabilidad del polen de las plantas en estado natural es bastante corto; en el caso de la flor del cacao, cuando esta se abre, este período es de 48 horas y en algunas condiciones especiales puede llegar hasta 72 (INIAP, 1993). En cuanto a las características físicas del polen de *Theobroma cacao* encontramos que éste es bastante pequeño ya que posee un tamaño promedio de 16 x 17  $\mu\text{m}$ , su forma es esférica o suboblato - esférico, con una estratificación tejilada, diseño reticulado y de apertura tricolada (IICA y CATIE, 1964).

#### **4.4 ECOLOGÍA DEL ÁRBOL DE CACAO**

El género *Theobroma* se encuentra en estado natural en los pisos inferiores de las selvas húmedas de América tropical y prospera mejor hasta una altitud de 1.200 m (INIAP, 1993).

Naturalmente el cacao es una especie umbrófila ya que evolucionó bajo un dosel cerrado. Este árbol se cultiva bajo la sombra de árboles más grandes pues requiere protección para su desarrollo normal y producción. Comparte el segundo y tercer estrato en las selvas tropicales. El cacao florece durante casi todo el año (principalmente entre junio y septiembre). Los frutos maduran en un periodo de 5 meses y dependiendo de la zona de producción se generan picos de cosecha marcados, (INIAP, 1993).

El cacao crece en áreas de topografía plana u ondulada se desarrolla mejor en zonas cálidas con pocas fluctuaciones de temperatura y humedad. La precipitación promedio debe ser de 1.300 a 2.800 mm por año con una estación seca corta. El clima debe ser constantemente húmedo, con temperatura media diaria entre 20 y 30 °C, con una mínima de 16 °C. Para su pleno desarrollo exige suelos profundos, fértiles y bien drenados (INIAP, 1993).

Las flores del cacao son receptivas para su fecundación desde las primeras horas de la mañana; sin embargo, a pesar de que el polen puede mantenerse viable hasta por un período de tres días una porción muy grande de las flores no son polinizadas y se desprenden después de 48 horas (INIAP, 1993).

Compatibilidad.- Los árboles de cacao dependiendo de su variedad han desarrollado diferentes niveles de compatibilidad con la finalidad de favorecer la fecundación cruzada y mantener la formación de individuos heterocigotos; a pesar

de que los mecanismos de autoincompatibilidad son bastante eficientes no excluye por completo la autofecundación (INIAP, 1993).

Dispersión.- Entre los agentes de dispersión se encuentran los monos, ardillas, murciélagos, loros y posteriormente las corrientes de agua. Los monos ocupan un lugar preponderante ya que se alimentan de los frutos del cacao aprovechando su pulpa y los nutrientes de los cotiledones en este proceso acarrear las semillas a otros lugares en donde germinan rápidamente. Las mazorcas que maduran en el árbol se secan y caen; por lo tanto, en su ciclo de vida natural el árbol del cacao depende de animales arborícolas como dispersores primarios para completar el proceso de germinación (Enríquez, 1985).

Germinación.- Las semillas, una vez retiradas del fruto, germinan rápidamente, a los 4 ó 6 días después de la siembra. Emergen primero la raíz y el hipocótilo, lo que ocasiona que los cotiledones se eleven por encima del nivel del suelo (10 a 15 días después de la siembra). Desarrollo de la semilla y el fruto: el cigoto comienza a dividirse de 40 a 50 días después de la polinización. La mazorca joven crece junto con los óvulos lentamente en un principio los primeros 40 días después de la siembra, después crece más rápido y alcanza su máximo alrededor de los 75 días. Un segundo período de crecimiento comienza más o menos a los 85 días después de la siembra, que es cuando la mazorca y el óvulo disminuyen su crecimiento a expensas del crecimiento del embrión, el óvulo se encuentra ahora lleno de un endospermo gelatinosos que es consumido por el embrión aproximadamente 140 días después de la siembra. La tasa de crecimiento cesa entonces hasta la madurez. Los frutos maduran y pueden cosecharse a los 5 ó 7 meses. El número de semillas por kilogramo de cacao seco varía según el tipo de cacao entre 400 a 500 (INIAP, 1993 y CONABIO, 2010).

Crecimiento.- Los cotiledones abren exponiendo a la plúmula, la cual empieza a crecer al mismo tiempo que la raíz pero es mucho más pequeña. La primera fase de crecimiento termina con la maduración de las primeras hojas. Aparecen brotes subsecuentes a intervalos de 6 semanas, cuyas hojas se encuentran bien espaciadas con un arreglo en espiral. La planta emprende su siguiente fase de crecimiento entre el segundo y cuarto año de edad mediante la formación de su primer molinillo. Cinco yemas en un eje común del extremo terminal de la planta crecen simultáneamente y en apariencia al mismo nivel, debido a la reducción extrema de los entrenudos entre las hojas. Las yemas que emergen muestran un hábito de crecimiento horizontal, lateral o plagiotrópico y se denominan brotes de abanico, mientras que el tallo crece hacia arriba y es de naturaleza ortotrópica. Después de algunos años puede empezar a crecer un nuevo chupón justo debajo de la unión del primer molinillo y cuando alcanza cierta longitud se forma un nuevo molinillo (INIAP, 1993).

Sombra.- La intensidad adecuada de sombra para las plantas de cacao es un factor clave ya que influencia otros factores como la temperatura, la humedad relativa, evaporación y disponibilidad de agua en el suelo además de factores que influyen en la fertilidad de la plantación como el tiempo para la incorporación de hojarasca que sumados afectan tanto el crecimiento del cacao como su producción (Beer *et al.*, 1998). Se destaca que las plántulas de cacao deben ser sembradas bajo sombra ya que así mantienen mayores concentraciones de clorofila que influye en mayores tasas de asimilación de CO<sub>2</sub>. Un aspecto importante, ya descrito para otros cultivos, es la variabilidad de respuestas que se pueden encontrar en los diferentes cultivares ante variaciones de los diferentes

parámetros como lo es la temperatura y luz y disponibilidad de agua (Jaimez *et al.*, 2008).

Aspectos del cultivo.- Entre los factores críticos para el desarrollo del cultivo están la temperatura y la lluvia. Demanda baja tecnología y pocos insumos. Requiere de árboles que le proporcionen sombra para su mejor desarrollo (INIAP, 1993).

Los árboles de sombra más comúnmente utilizados son: *Erythrina* sp., *Gliricidia sepium*, *Diphysa robinoides*, *Colubrina arborescens*, *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea*. La poda y la regulación de sombra son las prácticas más importantes (Ríos *et al.*, 1997).

En las primeras etapas del cultivo es importante mantener una sombra intensa, la cual se va reduciendo hasta lograr una sombra ligera en las etapas posteriores. Podar al final de la época seca o al inicio de las lluvias es una condición indispensable asegurando que esta actividad no se realice en etapas intermedias (INIAP, 1993).

El trasplante de las plántulas se hace a los 4 ó 5 meses (50 a 60 cm de altura), con follaje sano. El espaciamiento tradicional entre plantas es de 4x4 (625 plantas por ha) en plantaciones tradicionales, pero en la actualidad la densidad más adecuada en función de tiempo y espacio para plantaciones comerciales es de 3 x 3 (1.111 plantas por ha). Es importante tener en cuenta los caracteres de autocompatibilidad e intercompatibilidad cuando se vayan a establecer plantaciones clonales (INIAP, 1993).

Entomofauna.- Los insectos que frecuentan el árbol de cacao pertenecen en su mayoría a los órdenes Hymenoptera, Díptera, Orthoptera, y Coleoptera.

Globalmente se ha estimado que existen al menos 1.500 especies asociadas con el cultivo de cacao (Entwistle, 1972).

#### **4.5 LA POLINIZACIÓN DEL CACAO**

La polinización de las plantas es la transmisión del polen hacia los estigmas de otra planta, logrando la fecundación del óvulo y la generación de un nuevo fruto. El ciclo de la producción de cacao, desde la polinización hasta el fruto maduro (listo para cosechar) es, en condiciones normales, de 5 a 6 meses (INIAP, 1993).

Existe muy poca información o estudios detallados sobre el mecanismo de polinización del cacao; por ejemplo, se desconoce la cantidad necesaria de granos de polen que se requieren para fecundar el ovario o para que se produzca la caída de la flor. Sin embargo, considerando el número promedio de semillas en una mazorca de cacao, podemos deducir de por lo menos se requieren de una cantidad aproximada de 60 granos de polen por flor para fecundar a las semillas de una mazorca (com, pers.).

La polinización del cacao es en su mayoría de tipo cruzada, lo que significa que es necesario que un agente lleve el polen de un árbol donador a otro receptor mediante insectos. Muchas variedades de cacao tienen la característica genética de que no pueden auto polinizarse. 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, 1985). 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, 1982).

Por lo general, las flores que se han abierto por la mañana tienen anteras que ya han liberado el polen el cual se encuentra listo para el proceso de polinización; según varios investigadores, el estigma es usualmente polinizado en un período de dos a tres horas posteriores a la apertura de la flor, aunque ésta posteriormente puede permanecer abierta durante todo el día (Cheeseman, 1930).

En condiciones normales las flores que no han sido polinizadas son descartadas rápidamente; sin embargo, cuando las poblaciones de polinizadores son reducidas o cuando se siembra material auto incompatible el desarrollo de frutos en el árbol es limitado. Si la flor no es polinizada se desprende para el próximo día (Summer, 1962).

Estudios realizados por Cheeseman (1932), concluyeron erróneamente que la flor del cacao no producía olores atractivos o néctar; sin embargo, Stejskal (1969) identificó dos tipos de nectarios de tamaño microscópico y posteriormente demostró que las flores del cacao sí producían néctar y que expelían un olor que atraía mosquitos y algunos lepidópteros (Stejskal, 1969).

Por otro lado, si analizamos la morfología de la flor del cacao se puede deducir que únicamente son insectos de tamaño pequeño los agentes responsables de la polinización; algunos autores le dan el crédito a pequeños dípteros del género *Forcipomyia* y *Lasiohela* mientras que otros han sugerido que se trata también de áfidos, trípodos, y abejas silvestres (Córdoba *et al.*, 2013). De todos estos posibles candidatos, actualmente se han descartado a las abejas silvestres ya que por su

tamaño no le es posible acceder a las anteras que están cubiertas por la cógula que es una capsula formada por los pétalos de la flor (Figura 1), este mecanismo de protección es una barrera física que sugiere que el polinizador del cacao es un insecto pequeño capaz de movilizarse por toda la flor.

Se ha reportado que algunos áfidos y varias especies de hormigas (*Crematogaster* sp. y *Ectatomma tuberculatum*) también efectúan la polinización en el cultivo de cacao. Estudios previos realizados en plantaciones de centro América revelaron que únicamente un 5% de las flores de árboles no infestados con hormigas y áfidos pudieron ser polinizadas y de ellas sólo un 0.3% desarrollaron fruto; mientras que en árboles con fuertes infestaciones de estos insectos, un 35% de las flores eran polinizadas y un 2% de ellas desarrollaron fruta (Harland, 1924).

En la actualidad se ha determinado que el principal agente polinizador del cacao es una activa y pequeña mosquita (*Forcipomyia* sp.), que se ha encontrado en todas las áreas donde se cultiva el cacao. Estos dípteros pueden volar de un árbol a otro hasta una distancia de 60 m y tienen actividad durante el día después de las 8:00 am.

Los insectos polinizadores son relativamente escasos en las plantaciones de cacao especialmente en sistemas que han sido simplificados en su estructura de sistemas agroforestales a sistemas intensivos, reduciendo la cantidad de materia orgánica como la hojarasca, que es el micro hábitat para el desarrollo de insectos polinizadores (Young, 1982).

El proceso lógico en los cultivos de cacao con bajos niveles de polinización es mejorar los métodos culturales necesarios para el mantenimiento de las

poblaciones de polinizadores; por lo tanto, la naturaleza de incompatibilidad únicamente se compensa mediante una polinización cruzada natural, es así que, el servicio de polinización ofrecido por insectos especialmente acondicionados para esta labor es de importancia vital para el éxito en los rendimientos del cultivo (Ramos, 2011).

#### **4.6 DIVERSIDAD DE INSECTOS EN LA FLOR DEL CACAO**

La diversidad de especies de una comunidad es la variedad de los distintos tipos de organismos que forman la comunidad, este concepto tiene dos componentes que lo complementan. El primero es la riqueza de especies que representa el número total de especies diferentes en la comunidad. El segundo componente corresponde a la abundancia relativa de las especies, que es la proporción de cada especie en el número total de individuos de la comunidad (Campbell y Reece, 2007).

En un estudio reciente para determinar la diversidad de polinizadores, desarrollado en África, se realizaron importantes colecciones de insectos en época de floración. En este contexto, se catalogaron 2.721 insectos pertenecientes a 7 órdenes y 36 especies pero de éstas únicamente aquellas aladas fueron las que se reportaron asociadas a las flores del cacao (Adjaloo y Oduro, 2013).

En otros estudios se pudo determinar que los trípodos y los áfidos se mueven muy poco entre los árboles mientras que las hormigas y meliponinos son únicamente visitantes ocasionales de las flores del cacao. Ya en el año de 1958 el científico Glendenning concluye que los dípteros del género *Forcipomyia*, son los principales polinizadores del cacao, pues reportó el doble de los servicios de

polinización realizado por otras especies. Estos resultados fueron verificados en varios experimentos mediante el uso de bolsas de exclusión con diferentes tipos de insectos sobre flores de cacao (Pesantes, 2011).

En las plantaciones de cacao, existen diversas especies de hormigas, muchas de ellas tienen un comportamiento territorial y son dominantes, estas plantaciones se disponen espacialmente en forma de mosaico y como resultado tenemos que la mayoría de los árboles son forrajeados por una de estas especies de hormigas que provocan diferentes efectos en cada árbol perteneciente a su territorio (Bentley, 1977). Esta disposición espacial, particular de las plantaciones se mantiene constante debido a una competencia interespecífica por parte de las especies de hormigas. De esta manera, factores como la aplicación de insecticidas puede provocar dispersión, y por lo tanto, desbalance de la polinización (Leston, 1970).

Las recolecciones de insectos presentes en las plantaciones de cacao realizadas por Soetardi indicaron la presencia de 30 especies de organismos, de las cuales un 23,3%, o siete especies, eran hormigas polinizadoras de la flor de los árboles de cacao (Soetardi, 1950). Morfológicamente, esta flor tiende a ser de difícil acceso a su interior para insectos caminadores (Feinsinger & Swarm, 1978), razón por la cual la presencia de hormigas es poco frecuente en el interior de las flores del cacao (Janzen, 1977).

En un estudio realizado en la zona cacaotera de Barlovento en Venezuela se realizaron colecciones de flores de cacao para determinar la presencia de hormigas; en el estudio denominado Interacción Hormiga Polinizador en Cacao de las 434 flores observadas de *Theobroma cacao*, el porcentaje que tenía hormigas

fue del 24%. Solo cuatro especies de hormigas se presentaron sobre las flores; de éstas las que se encontraron con mayor frecuencia fueron: *Solenopsis* sp., y *Wasmannia auropunctata*, que constituyen las especies de hormigas más pequeñas; Es importante destacar que las hormigas del género *Solenopsis*, dependen de los hemípteros asociados a las flores. En este estudio también se encontraron otras especies de hormigas como son *Azteca foreli* y *Monacis bispinosa* pero en una proporción mucho menor (Goitia *et al.*, 1992).

Una característica particular de las plantaciones de cacao a lo largo del mundo, es que pocas especies de hormigas son de carácter dominante y separan a otras especies de hormigas de su territorio (Taylor, 1977). Esto brinda una explicación para la diferencia de especies de hormigas presentes en las muestras obtenidas de plantaciones comerciales comparadas con las muestras de plantaciones rústicas (Jaffe *et al.*, 1986). En sistemas agroforestales existe una mayor variedad de especies de hormigas, pero con una densidad de población menor, debido a su diversidad de flora (Entwistle, 1972).

La presencia de una variedad de especies de hormigas en una plantación de cacao puede fomentar la producción, es por esto que se debe tomar en cuenta el manejo de estas especies para el mantenimiento efectivo en los cultivos de cacao (Jaffe *et al.*, 1986).

#### **4.7 DIVERSIDAD DE INSECTOS POLINIZADORES DEL CACAO**

Hasta la actualidad, no existe un consenso sobre cuál es el principal insecto responsable de la polinización del cacao. Se citan por ejemplo: *Forcipomyia quasiigrammi* y *Lasiohella nana*, a las hormigas *Crematogaster* sp., algunas especies de áfidos *Aphis gossypii* y *Toxoptera aurantii*, especies de tripsidos

*Frankliniella parvula* y algunas abejas silvestres aunque este grupo ha sido descartado pues el tamaño de los individuos no les permite acceder a las estructuras florales. Otras especies que podrían considerarse en base a observaciones son las hormigas *Wasmannia suropunctata* y *Solenopsis geminata* (Córdoba *et al.*, 2013).

En lo referente a los áfidos o pulgones (Hemiptera: Aphididae) que se encontraron en hojas, flores y frutos de cacao, la literatura señala la existencia de dos especies: *Aphis gossypii* y *Toxoptera aurantii*, sin embargo, todos los diagnósticos realizados en Bocas del Toro, Panamá, señalan la presencia únicamente del género *Toxoptera* (Córdoba *et al.*, 2013).

Existen diversas especies de insectos que cumplen con el rol de polinizadores de cacao. En el caso de Ecuador, las especies que visitan la flor de cacao con más frecuencia son: *Frankliniella parvula* (Thripidae), *Toxoptera auranti* (Aphididae), *Solenopsis* sp., *Pheidole* sp., *Wasmannia auropunctata*, *Crematogaster* sp., *Paratrechina* sp., *Brachimirex* sp., (Formicidae), y *Forcipomyia* sp, (Ceratopogonidae), que es la especie de polinizadores más frecuente. Todos estos organismos tienen características particulares que les permiten ser polinizadores de la flor de cacao. La primera es la capacidad de volar grandes distancias, la habilidad de transportar grandes cantidades de polen, y finalmente, su tamaño pequeño que les permite el acceso al interior de la flor. (INIAP, 1993).

Existen 1095 especies de Ceratopogonidae descritas en la región Neotropical, aunque existen muchas especies que todavía no han sido descritas, particularmente de los géneros: *Forcipomyia*, *Atrichopogon*, *Dasyhelea* y *Stilobezzia*. Las especies de esta familia pueden ser halladas en todas las

altitudes y virtualmente en todo tipo de hábitat en donde exista al algo de humedad (Borkent y Spinelli, 2007).

Es generalmente aceptado que los Ceratopogónidos, especialmente los géneros *Atrichopogon*, *Dasyhelea*, y *Forcipomyia*, son los principales polinizadores del cacao (Tabla 1). Este último género, figura como el polinizador más efectivo (Soria, 1970).

Todos los miembros de la familia Ceratopogonidae se desarrollan a partir de huevos, que son depositados en sustratos húmedos y en algunas especies directamente en el agua, también poseen un estadio larvario con un proceso de maduración que implica hasta cuatro mudas; posteriormente, las larvas forman una pupa y finalmente individuos adultos. Las larvas de esta familia son detritívoros o predadores en sistemas acuáticos y se encuentran en diferente micro hábitats como orificios de troncos, flores tropicales, hojarasca, y sistemas hídricos. En las zonas del tropicales de América del Sur los Ceratopogonidae en estadios inmaduros son una fuente importante de alimento para otros insectos y peces (Borkent y Spinelli, 2007).

Los principales polinizadores del cacao son los Dípteros del género *Forcipomyia*, estos son insectos diminutos que tienen características poco perceptibles para el ojo humano; debido a su tamaño son capaces de llegar fácilmente al polen de la flor del cacao, en este caso la cápsula que forman los pétalos le otorgan incluso un refugio que les permite movilizarse de manera segura; las “mosquitas” son más abundantes en ambientes naturales que en las plantaciones comerciales, y son uno de los principales factores en la producción de semillas de cacao (Borkent y Spinelli, 2007).

Varios estudios han demostrado que solo las hembras del género *Forcipomyia* son los individuos que polinizan las flores del cacao (De la Cruz y Soria, 1973). Sin embargo, otro género, *Atrichopogon*, también figura como uno de los polinizadores predominantes del cultivo del cacao pero a diferencia de *Forcipomyia*, exhibe una estrategia en la cual tanto los machos como las hembras visitan las flores por carbohidratos y las hembras perforan los granos de polen en busca de proteína (Young, 1983).

En el caso de *Forcipomyia*, su población es más abundante en temporada de lluvia, y tienen la tendencia a formar colonias en las cáscaras de cacao y hojarasca. Por esta razón, es clave mantener y aumentar los sitios de crianza de este mosquito, para así, estimular una mayor acción polinizadora. Un ejemplo de esto, es dejar las cáscaras de cacao regados uniformemente a lo largo de la plantación (INIAP, 1993).

Dentro del género *Forcipomyia*, algunas especies 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). Al mismo tiempo, se observa la especialización en la complejidad de la estructura de la flor del cacao, la cual parece exclusivamente adaptada para que estos insectos sean los que la polinicen (Goitia *et al.*, 1992).

Aunque los dípteros de del género *Forcipomyia* son los insectos de mayor importancia como polinizadores en el cacao, falta información que establezca claramente el mecanismo realizado, los detalles de las relaciones ecológicas existentes y la diversidad de especies en diferentes áreas de producción.

La colección incluye 178 ejemplares adultos pertenecientes a 27 especies, de las cuales 24 corresponden al género *Forcipomyia* (Tabla 2). El material fue colectado manualmente sobre plantas de cacao en las principales zonas productoras de este cultivo en Venezuela. Los ejemplares están montados en láminas portaobjeto en bálsamo de Canadá según la metodología de Wirth y Marston (1968). La identificación de los especímenes ha sido realizada por el Dr. Gustavo Spinelli y Andrea Dippolito, ambos de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. La colección está a disposición de los investigadores interesados (Sánchez *et al.*, 2001).

La proporción de Ceratopogónidos en suelos cubiertos de desechos orgánicos propios de la selva (tallos y cáscaras de plátano por ejemplo) contribuye a aumentar en una proporción de 10 a 1 la abundancia de estos insectos con respecto a las plantaciones que poseen pocos desechos orgánicos.

Los dípteros del género *Forcipomyia* depositan sus huevos en la materia orgánica descompuesta. En las plantaciones en las que se usan insumos químicos y que poseen poca cobertura vegetal se encuentra una menor de polinizadores. En este contexto, la producción en su mayoría es orgánica y tiende a conservar una buena capa de materia orgánica. La abundancia de polinizadores es fundamental para lograr una producción de cacao rentable (Ramos, 2011).

El caso de las plantaciones de Costa de Marfil que se desarrollan en climas con períodos secos prolongados en donde la materia en descomposición se seca o desaparece los períodos largos de verano afecta directamente a las poblaciones de polinizadores reduciendo su número de manera drástica. En estos ambientes, algunos investigadores han descubierto que conservando sobre el suelo una

abundante masa de tallos de banano se puede ayudar a conservar una población estable de ceratopogónidos, porque el tallo del banano es hueco y con cavidades, lo que ayudan a mantener una buena humedad durante todo el año, formando así colonias permanentes de polinizadores y larvas protegidas en un medio ambiente húmedo y nutritivo.

La polinización de cacao por Ceratopogónidos es altamente dependiente de las poblaciones de mosquitos con los ciclos de floración; y por otro lado, la abundancia de mosquitos también está influenciada directamente con la abundancia de flores (Young, 1983).

Las variables ligadas a los ritmos poblacionales de los insectos polinizadores del cacao como su disponibilidad, tamaño, especie y sexo, y las variables asociadas a los ritmos de la floración como la viabilidad y disponibilidad del polen, determinan el modelo de fluctuación de la polinización (Soria, 1977). Sin embargo, también existen otros factores ambientales como el clima, la humedad y la incidencia de luz que son variables que también influyen sobre la polinización.

El género *Forcipomyia*, está calificado como el principal agente polinizador del cacao, dentro de este, se ha encontrado que las especies de *Forcipomyia eurousjoannisia*, *F. squamipennis*, *F. ashantii*, *F. castanea* 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). En Costa Rica, las especies más eficientes de *Forcipomyia* teniendo en cuenta número y frecuencia de actividad polinizadora fueron: *F. blantoni*, *F. tuberculata* y *Forcipomyia* sp. (Soria et al., 1980). En Ghana, las especies de *Forcipomyia Euprojoannisia*, *F. ashantii* y *F. lepidohelia*, son las más eficientes (Ramos,

2011). Mientras que otros autores reportan que *Forcipomyia inornatipennis* ha probado ser mejor polinizador que otras especies como *F. castanea* y *F. squamipennis* (Ramos, 2011).

#### **4.8 FACTORES PARA LA DIVERSIDAD DE POLINIZADORES**

Es importante destacar que durante el proceso de evolución las flores se adaptaron para restringir las poblaciones de polinizadores reduciendo su número a unos pocos o incluso a una especie. En este contexto los animales que requieren grandes cantidades de energía no utilizarán especies que producen pocas cantidades de néctar y aquellas especies que producen grandes cantidades de néctar han desarrollado estructuras de protección ante organismos pequeños que pueden utilizar el néctar sin contribuir con el proceso de polinización (Price, 1997).

La forma, color y los olores generados por una flor también son características adaptadas para restringir la presencia de polinizadores; por ejemplo algunas flores se abren y secretan néctar por pocas horas en la noche para que estos recursos estén disponibles para especies de murciélagos o mariposas nocturnas y que no estén disponibles para los insectos diurnos o aves (Price, 1997).

#### **4.9 LA ABUNDANCIA DE LOS POLINIZADORES**

En un estudio de polinizadores del cacao realizado en Brasil se reportó una abundancia de entre 3.000 hasta 300.000 polinizadores por hectárea en cacaotales (Winder, 1977); en otra investigación sobre polinizadores realizada en Venezuela se reportaron entre 0,9 y 2,8 polinizadores por árbol equivalentes a 550-1800 polinizadores por hectárea (Narváez y Marín, 1996).

Recientemente, en el año 2013 en Panamá, se determinó las amplias diferencias en la abundancia de polinizadores entre las parcelas estudiadas; las variaciones encontradas estaban influenciadas por la disponibilidad del hábitat necesario para la reproducción de los polinizadores como: montículos de hojarasca, cáscaras de cacao en descomposición y humedad en las plantaciones (Kaufmann, 1987). En los sistemas agroforestales de cacao en Bocas del Toro, Panamá es posible encontrar una abundancia de polinizadores entre 1700 y 19.500 individuos por hectárea; en otros lugares, la variación puede ser todavía mayor (Córdoba *et al.*, 2013).

En el estudio de polinizadores, polinización y producción potencial de cacao en sistemas agroforestales de Bocas del Toro, las diferencias de abundancias entre géneros de polinizadores encontrados parecen pequeñas cuando el análisis se realiza por metro cuadrado o por kilogramo de hojarasca, pero este cálculo en áreas mayores refleja diferencias sustanciales. Por ejemplo, tomando como referencia una hectárea se encontrarían 3.000 y 8.000 individuos más de *Forcipomyia* en comparación con *Dasyhelea* y *Atrichopogon*, respectivamente. Esa cantidad de polinizadores podría influir significativamente en la polinización de flores (Córdoba *et al.*, 2013).

Por otro lado, se observó que los dípteros del género *Forcipomyia* proliferan mejor en capas de hojarasca más gruesas pero no dependen tanto de la humedad de la misma. En cambio los géneros *Dasyhelea* y *Atrichopogon* serían más dependientes de la humedad. En todos los análisis se reportó una mayor abundancia del *Forcipomyia* (Córdoba *et al.*, 2013).

#### **4.10 FACTORES PARA LA ABUNDANCIA DE POLINIZADORES**

La sombra que provee el dosel superior, en sistemas agroforestales, es un elemento clave para el cultivo de cacao, especialmente en las plantaciones tradicionales que tienen variedades de cacao de tipo forastero; en este contexto, la cantidad, tipo y diversidad de especies forestales para la sombra son elementos clave ya que la falta o carencia de la misma afecta directamente el desempeño del cultivo (Ríos *et al.*, 1997).

En estudios previos se observó que a mayor cantidad de plantas en el dosel, más densa es la sombra, que impide la entrada de luz y disminuye la floración de cacao, lo que desalienta el crecimiento de insectos polinizadores y su actividad de polinización (Young, 1982).

Las condiciones más óptimas para una buena floración se presentan en zonas que tienen precipitaciones superiores a los 80 mm por mes y temperatura alrededor de 28°C. En las zonas de producción de cacao en la región Amazónica la precipitación no es limitante porque llueve casi todo el año, pero la temperatura en sistemas agroforestales puede ser una variable clave ya que bajo el dosel esta puede ser menor a la temperatura ambiente. Por otro lado, una mayor densidad de árboles de cacao hace que haya una mayor cantidad de flores que atraen a los insectos polinizadores (Kaufmann, 1975).

Los resultados encontrados en estudios muestran que existe una relación positiva entre el porcentaje de humedad de la hojarasca del suelo y la abundancia de polinizadores. Indicando que a medida que aumenta la humedad de la hojarasca, aumenta también la abundancia de polinizadores. Esto se debe principalmente a que estos insectos polinizadores requieren de un hábitat húmedo

para reproducirse y alimentar a sus larvas y huevos (Kaufmann, 1975; Azhar y Wahi, 1984), en donde un montón de hojarasca con suficiente humedad les proporciona las condiciones adecuadas para realizar esta actividad. Estudios realizados por Winder también encontraron relación positiva entre la humedad del suelo y la abundancia de polinizadores. Encontrando que las mayores poblaciones de insectos polinizadores de la familia Ceratopogonidae estaban correlacionadas con mayor humedad del suelo y las menores poblaciones con la menor humedad del suelo (Winder, 1977).

La presencia de hojarasca y materia vegetal en descomposición presentan una relación positiva con la abundancia de Ceratopogónidos, por lo tanto, una cobertura de este tipo en el suelo de una plantación de cacao sirve de hábitat para la reproducción de insectos polinizadores (INIAP, 1993).

Los Ceratopogónidos ocupan varios tipos de hábitats; algunas especies eligen ambientes soleados, otras viven solo en hábitats oscuros y fríos, mientras hay otras especies con hábitos intermedios. Los grupos que prefieren lugares iluminados rara vez o nunca visitan las flores del cacao; aquellos con hábitos intermedios son polinizadores ocasionales, pero las especies que prefieren sombra son aquellos que buscan refugio y forman poblaciones permanentes en las plantaciones donde encuentran todos sus requerimientos ecológicos (Kaufmann, 1987).

## 5. CONCLUSIONES

La diversidad de la entomofauna relacionada con la flor del cacao está compuesta por al menos 5 especies de hormigas, 3 especies de Tripsidos, 2 especies de Afidos, 2 especies de Avispas y cerca de 27 especies de Dípteros; en los registros y colecciones disponibles se reportaron casi 24 especies de Dípteros del género *Forcipomyia*.

La diversidad de los insectos que frecuentan las flores del cacao está relacionada con la presencia de nectarios y polen. Estos recursos, atraen mayoritariamente a insectos pequeños, particularmente de individuos del género *Forcipomyia* los cuales también tienen una relación directa con el número de flores que llegan a ser fecundadas.

Al analizar la información recopilada sobre la diversidad de la entomofauna presente en las flores del cacao y su relación con las diferentes variables ambientales se concluye que los sistemas agroforestales favorecen la presencia de un mayor número de especies; sin embargo, el número de flores y la humedad del entorno son variables clave que inciden en la abundancia de los insectos especialmente de polinizadores.

La familia Ceratopogónidae es el grupo más diverso y abundante y, se ha comprobado que al menos tres géneros están relacionados directamente con el número de flores fecundadas; por lo tanto, es el grupo de insectos polinizadores más importante para el árbol del cacao.

A pesar que el género *Forcipomyia* es catalogado como el principal polinizador del cacao los estudios encontrados únicamente se limitan a describir aspectos

relacionados con su abundancia y efectividad como polinizadores; por lo tanto, todavía falta determinar la dinámica específica de este mecanismo, las relaciones ecológicas existentes y la diversidad de especies en diferentes áreas de producción.

El análisis de la diversidad y abundancia de los insectos asociados a la flor de cacao es un aspecto fundamental que debe ser más conocido y estudiado con la finalidad de entender los mecanismos de polinización y favorecer a las poblaciones de polinizadores con buenas prácticas agroecológicas.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios más específicos sobre la ecología relacionada con la polinización del cacao para comprender los procesos de coevolución entre el cacao y sus polinizadores; algunos temas de particular interés están relacionados con la dependencia energética, dinámica de poblaciones, adaptaciones específicas y diversidad.

Estudiar la relación entre el cacao y los insectos polinizadores permitirá avanzar en el conocimiento del funcionamiento de estos sistemas agroforestales como tal; además esta información será de gran utilidad para crear nuevas bases para el manejo apropiado de estos agro-ecosistemas y el desarrollo de buenas prácticas de manejo. En este contexto, es importante complementar las investigaciones con estudios de taxonomía y ecología.

Considerando que los estudios encontrados se han enfocado mayormente en el análisis de la abundancia de Ceratopogónidos, dejando de lado otras especies que también están relacionadas con la flor del cacao, es necesario realizar estudios más profundos sobre ecología floral y fenología para conocer las relaciones ecológicas que se producen en las flores del cacao y las especies que intervienen en las diferentes zonas de producción en Ecuador.

Como parte de los programas de asistencia técnica a productores, es importante promover buenas prácticas de manejo ajustadas a sistemas agroforestales; un aspecto importante es facilitar la presencia y el desarrollo de poblaciones saludables de polinizadores para favorecer la producción sostenible de cacao.

Se recomienda mantener intacta la cobertura de materia orgánica y hojarasca en los cacaotales además de conservar los árboles de sombra. Estas prácticas agrícolas ayudan a mantener poblaciones importantes de insectos del género *Forcipomyia* ya que ellos insectos habitan y se reproducen en estos sustratos.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

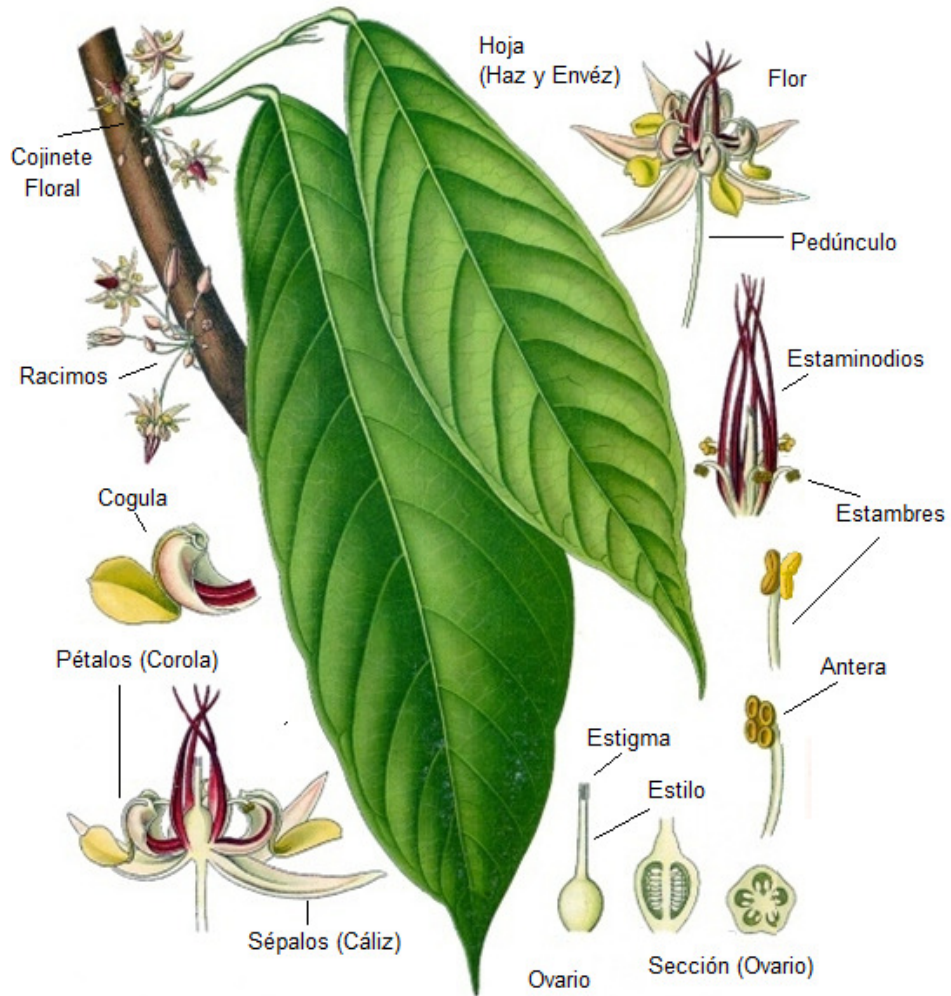
- Abrol, D. P. **Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production**. New York: Springer Science & Business Media, 2011.
- Adjaloo, M., & Oduro, W. Insect assemblage and the pollination System of cocoa (*Theobroma cacao* L). **Journal of applied Bioscience**, 4582-4594, 2013.
- Azhar, I., Wahi, M. Pollination of cocoa in Malaysia: identification of taxonomic composition and breeding sites, ecology and pollinating activities, and seasonal abundance. **The Incorporated Society of Planters**. p. 77-89, 1984.
- Baker, H.G., Baker, I. Ant and Flowers. **Biotropica**, 10(1) 80, 1978.
- Beer, R., Mushler, R., & Somarriba, E. Shade management in coffee and cocoa plantations . **Agroforestry Systems**, 139 – 164, 1998.
- Bentley, B. The protective function of ants visiting the extrafloral nectaries of *Bixa orellana* (Bixaceae). **Journal of Ecology**, 27-28, 1977.
- Borkent, A., & Spinelli, G. Neotropical Ceratopogonidae (Diptera: Insecta). **Aquatic Biodiversity in Latin America**: 130-147, 2007.
- Bos, M. S. Shade tree management affects fruit abortion, insect pests and pathogens of cacao. **Agriculture Ecosystems and Environment**, 201-205, 2007.
- Buchmann, N. Services Provided by Pollinators, Chapter 8, G. Daily (ed.),. **Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems**, 133-150, 1996.
- Campbell, N., & Reece, J. **Biología**. Madrid: Médica Panamericana S.A., 2007. 235p
- Cheeseman, E. The economic botany of cacao. **Tropical Agriculture Sup.**, v. 9, 10-16, 1930.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Theobroma cacao*, **CONABIO**, Mexico. 253-258, 2010.
- Committee on the status of pollinators in North America. **Status of pollinators in North America**. Washington: The National Academies Press, 2007.
- Córdoba, C., Cerda, R., Deheuvels, O., Hidalgo, E., & Declerck, F. Polinizadores, Polinización y Producción Potencial de Cacao en Sistemas Agroforestales de Bocas del Toro, Panamá. **Agroforestería en las Américas** N° 49, 26-32, 2013.
- Curtis, H., & Schnek, A. Curtis. **Biología**. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana, 2008. 240p

- De la Cruz, J., & Soria, S. Estudio de Fluctuaciones de Polinización de Cacao por las Mosquitas Forcipoyia spp. (Diptera, Ceratopogonidae), en Palmira, Valle, Colombia. **Acta Agronómica**. 23, 1-17, 1973.
- Enríquez, G. A. **Curso sobre el Cultivo de Cacao**. Turrialba: Bib. Orton IICA / CATIE, 1985.
- Entwistle, P. Pests of Cacao. London: **Logman first edition**, 103, 1972.
- Estación Experimental Central de la Amazonía. Análisis de la cadena de cacao y perspectivas de los mercados para la Amazonía Norte. **INIAP**. 153, 11-13, 2009.
- Fajardo M., Zavaleta H., Córdova L., López A., Delgado A., Vidales I., & Villegas A. Anatomía e histoquímica de la semilla del cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo mexicano. **Fitotec**. Mex. Vol. 35 (3): 189-197, 2012.
- Feinsinger, P., & Swarm, L. How common are ant-repellent nectars? **Biotrópica**, 239, 1978.
- Goitia, W., Bosque, C., & Jaffe, K. Interacciones Hormigas-Polinizador en Cacao. **Turrialba**, 42: 178-186, 1992.
- Gots, S., & Harvey, C. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. **Biodiversity and Conservation**. Ed Springer Vol 16 (8), 2007.
- Harland, S. The method of pollination. **Studies in cacao**, 61-69, 1924.
- IICA/CATIE. **Informe Técnico 1964**. Turrialba: ORTON. IICA / CATIE, 1964
- INIAP. **Manual del Cultivo de Cacao**. Quito: Sección de Comunicación del INIAP, 1993.
- Jaffe, K., Tablante, A., & Sánchez, P. Ecología de Formicidae en plantaciones de *Theobroma cacao*. **Revista Theobroma**, 189-197, 1986.
- Jaimez, R., Tezara, W., Coronel, I., & Ulrich, R. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agro forestal. **Revista Forestal Venezolana**, 253 – 258, 2008.
- Janzen, D. Why don't ants visit flowers? **Biotrópica**, 1977
- Kaufmann, T. Ecology and behavior of cocoa pollinating Ceratopogonidae in Ghana, W. Africa. **Environmental Entomology**, 347-351, 1975
- Kaufmann, T. Effects of insect pollinators on fruit set of cocoa flowers. **International Cocoa Research Conference**, 303-306, 1987.
- Kearns, C., Inouye, D., & Waser, N. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator Interactions. **Annual review of Ecology and Systematics**, 29: 83-112, 1998.
- Kohler, F. **Wikimedia Commons, the free media repository**. Obtenido de [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theobroma\\_cacao\\_-\\_K%C3%B6hler%20%93s\\_Medizinal-Pflanzen-136.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theobroma_cacao_-_K%C3%B6hler%20%93s_Medizinal-Pflanzen-136.jpg)

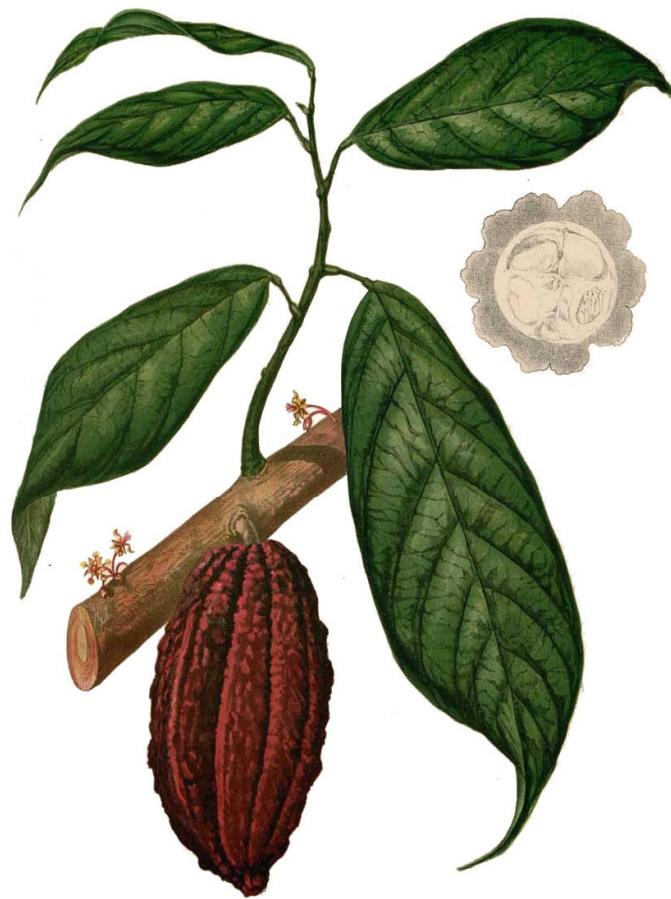
- Leston, D. Entomology of the cocoa farm. **Annual Review of Entomology**, 311-314, 1970
- MARS, USDA-ARS, IBM, NCGR, Clemson University, HudsonAlpha Institute for Biotechnology, Indiana University and Washington State University. Consultad el 15 de Enero de 2015. **Cacao Genome Database**. Obtenido de [www.cacaogenomedb.org](http://www.cacaogenomedb.org)
- Narváez, Z., & Marín, C. Abundance of ceratopogonids (Diptera) in a cacao plantation (*Theobroma cacao*), at Chuao, Edo. Aragua, Venezuela. **Agrotropica** 8, 15-22, 1996.
- Pesantes, D. Información sobre polinización de algunos arbustos y árboles de importancia agrícola y apícola. **Universidad de Puerto Rico**, 11-14, 2011.
- Price, P. **Insect Ecology**. Arizona: John Wiley & Sons, 1997.
- Ramos, R. Estudio de la Diversidad de Insectos Polinizadores en Sistemas Agroforestales de Cacao y su Relación con la Productividad y Diversidad de Especies de Dosel. San Pedro de Sula: **Universidad de San Pedro de Sula**, 2011.
- Raven, P., Evert, R., & Eichhorn, S. Biología de las Plantas, Volume 2. Barcelona, **Reverte**, 392, 2004.
- Richards, A. Plant Breeding Systems. London: **Paston Press**, 1986.
- Ríos, F., Gavilanes, M., Melo, C., & Acosta, N. **Diagnostico biológico de plantaciones de cacao**. Quito, 1997.
- Ríos, F. El Origen y Uso Temprano del Cacao. Quito: **Programa ACDI VOCA LBD**, 2011.
- Ríos, F. **Estrategia para la Promoción de Exportaciones de Cacao Ecuatoriano**. Quito: PROECUADOR, CORPEI, 2013.
- Sánchez, P., Morillo, F., & Muñoz, W. Las especies de *Forcipomyia*, Meigen (Diptera: Ceratopogonidae) polinizadoras del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Colección de la Estación Experimental del INIA-Miranda, Venezuela. **Entomotropica**, 147-148, 2001.
- Soetardi, R. The importance of insects for the pollination of *Theobroma cacao* L. . Indonesia: **Archives of Cocoa Research**, 1950.
- Soria, S. Studies on *Forcipomyia* spp. Midges (Dipteral, Ceratopogonidae) related to the pollination of *Theobroma cacao* L. Wisconsin: Thesis Ph.D. **University of Wisconsin**, 1970.
- Soria, S. **Las relaciones de variables climáticas y bióticas con la dinámica de poblaciones de *Forcipomyia* spp.** (Diptera, Ceratopogonidae) y la polinización del cacaotero en Bahía, Brasil. 425, 1977.

- Soria, S., Wirth, W., & Chapman, K. Insect pollination of cacao in Costa Rica. Preliminary list of the ceratopogonid midges collected from flowers. **Revista Theobroma**, 61-68, 1980.
- Stejskal, M. Nectar and aroma of the cacao flower. **Oriente Agropecuario**, 1(2): 7592., 75 – 92, 1969.
- Summer, H. Cocoa Pollination. New York: **Oxford University Press**, 1962.
- Taylor, B. The ant mosaic on cocoa and other tree crops in Western Nigeria. **Ecological Entomology**, 245-255, 1977.
- Theobroma cacao**. Disponible en:  
<http://www.juliemcenerny.com.au/svmanager/g15/images/Theobroma%20cacao%20web.jpg> [fecha de consulta: 20 de marzo de 2015].
- Valdéz, F. Primeras Sociedades de la Alta Amazonía. Quito: **Institut de Recherche pour le Développement – IRD**, 2013
- Winder, J. Recent research on insect pollination of cocoa. **Cocoa Growers Bulletin**, 26: 11-19, 1977.
- Young, A. Effects of shade cover and availability of midge breeding sites on pollinating midge population and fruit set in two cocoa farms. **Journal of Applied Ecology**, 47-63, 1982.
- Young, A. 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**: 20, 801-828, 1983.
- Young, A. Habitat differences in Cocoa tree flowering, fruit set, and pollinator availability in Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, 163-186, 1986.

## 8. FIGURAS



**Figura 1. Estructura floral de *Theobroma cacao* y descripción de su partes (Kohler, 1897).**



THEOBROMA CACAO.—LINN.—Blanco.—DC.

**Figura 2. Detalle del tronco, fruto, flor y hojas de *Theobroma cacao*.**  
<http://www.juliemcenery.com.au/svmanager/g15/images/Theobroma%20cacao%20web.jpg>

## 9. TABLAS

**Tabla 1.** Especies de insectos registradas en flores de cacao (Soria *et al.*, 1980).

<b>Especies</b>	<b>Número de especímenes</b>
<i>Forcipomyia blantoni</i>	241
<i>Forcipomyia</i> spp.	27
<i>Dasyhelea</i> spp.	17
Cecidomyiidae	15
<i>Atrichopogon</i> spp.	10
Thysanoptera	10
<i>Forcipomyia nana</i>	8
<i>Forcipomyia</i> spp.	8
<i>Metaforcipomyia</i> spp	2
<i>Culicoides</i> spp	2
Chironomidae	2
<i>Forcipomyia</i> spp.	1
<i>Forcipomyia fuliginosa</i>	1
<i>Forcipomyia stylifera</i>	1
<i>Brachypogon</i> spp.	1
Psychodida sp.	1
Sphaeroceridae sp.	1

En la tabla se puede apreciar que en los registros realizados se determinó una presencia dominante de dípteros del género *Forcipomyia* pues se encontraron 289 de 348 individuos registrados; por otro lado, se registraron un total de 17 especies, de las cuales 8 corresponden al género *Forcipomyia*.

**Tabla 2.** La colección identificada de Ceratopogonidae, polinizadores de cacao, depositada en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), en Caucagua, Estado Miranda (Sánchez *et al.*, 2011).

<b>Especies</b>	<b>Estados de colecta</b>
<i>Forcipomyia spatulifera</i>	Amacuro, Miranda, Táchira
<i>Forcipomyia brachyrhynchus</i>	Amacuro, Aragua, Sucre
<i>Forcipomyia quasiingrami</i>	Amacuro, Apure, Miranda.
<i>Forcipomyia genualis</i>	Amacuro, Apure, Aragua, Barinas, Carabobo, Dtto. Federal, Mérida, Miranda, Sucre, Táchira, Yaracuy.
<i>Forcipomyia harpegonata</i>	Amacuro, Apure, Aragua, Carabobo, Miranda, Sucre Táchira, Yaracuy.
<i>Forcipomyia pictoni</i>	Apure, Aragua, Dtto. Federal, Miranda, Táchira, Yaracuy.
<i>Forcipomyia quatei</i>	Apure, Táchira
<i>Forcipomyia cornuta</i>	Apure, Táchira.
<i>Forcipomyia setigera</i>	Aragua, Sucre
<i>Forcipomyia pinamerensis</i>	Aragua, Yaracuy
<i>Forcipomyia luteigenua</i>	Aragua.
<i>Forcipomyia winderi</i>	Aragua, Miranda, Yaracuy
<i>Forcipomyia sp.</i>	Aragua.
<i>Forcipomyia marini</i>	Aragua, Carabobo, Yaracuy. (Holotipo, Alotipo).
<i>Forcipomyia uramaensis</i>	Carabobo (Holotipo).
<i>Forcipomyia longispina</i>	Miranda, Táchira.
<i>Forcipomyia blantoni</i>	Miranda, Sucre.
<i>Forcipomyia seminole</i>	Miranda, Yaracuy.
<i>Forcipomyia squamithorax</i>	Miranda, Yaracuy.
<i>Forcipomyia louriei</i>	Miranda.
<i>Forcipomyia hermosa</i>	Miranda.
<i>Forcipomyia terrestres</i>	Miranda.
<i>Forcipomyia attenuata</i>	Táchira.
<i>Forcipomyia aeria</i>	Táchira.
<i>Monohelea affinis</i>	Miranda.
<i>Atrichopogon sp.</i>	Apure, Miranda, Táchira.
<i>Stilobezzia sp.</i>	Táchira

Nota: Las tres últimas especies no están registradas como polinizadores del cacao, pero están asociadas al bosque cacaotero.

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Diego Frans Ríos Sevilla, CI 1711753747 autor del trabajo de graduación intitulado: “Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de *Theobroma cacao*”, previa a la obtención del grado académico **de LICENCIADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en la Facultad de **Ciencias Exactas y Naturales**:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 23 de febrero de 2015

Sr. Diego Frans Ríos Sevilla

1711753747

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de  
*Theobroma cacao***

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado  
en Ciencias Biológicas**

**DIEGO FRANS RÍOS SEVILLA**

**Quito, 2015**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de  
*Theobroma cacao***

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado  
en Ciencias Biológicas**

**DIEGO FRANS RÍOS SEVILLA**

**Quito, 2015**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que la Monografía de Licenciatura en Ciencias Biológicas, del Sr. Diego Frans Ríos Sevilla ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Msc. Alvaro Barragán

Quito, 27 de marzo de 2015

**TABLA DE CONTENIDO**

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN.....	4
4. DESARROLLO TEÓRICO.....	7
4.1 EL CULTIVO DEL CACAO EN ECUADOR.....	7
4.2 EL ORIGEN DEL CACAO.....	8
4.3 DESCRIPCIÓN DE <i>Theobroma cacao</i> .....	10
4.3.1 BIOLOGÍA FLORAL.....	13
4.3.2 LA ESTRUCTURA DE LA FLOR DEL CACAO.....	16
4.3.3 EL POLEN DEL CACAO.....	17
4.4 ECOLOGÍA DEL ÁRBOL DE CACAO.....	18
4.5 LA POLINIZACIÓN DEL CACAO.....	22
4.6 DIVERSIDAD DE INSECTOS EN LA FLOR DEL CACAO.....	25
4.7 DIVERSIDAD DE INSECTOS POLINIZADORES DEL CACAO.....	27
4.8 FACTORES PARA LA DIVERSIDAD DE POLINIZADORES.....	33
4.9 LA ABUNDANCIA DE LOS POLINIZADORES.....	33
4.10 FACTORES PARA LA ABUNDANCIA DE POLINIZADORES.....	35
5. CONCLUSIONES.....	37
6. RECOMENDACIONES.....	39
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Estructura floral de *Theobroma cacao* y descripción de sus partes.....46
- Figura 2.** Detalle del tronco, fruto, flor y hojas de *Theobroma cacao*.....47

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Especies de insectos registradas en flores de cacao.....	49
<b>Tabla 2.</b> La colección identificada de Ceratopogonidae, polinizadores de cacao, depositada en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).....	50

## 1. RESUMEN

El cacao *Theobroma cacao*, se origina en las selvas tropicales de Suramérica, específicamente desde una zona compartida entre la Amazonia de Ecuador, Colombia y Perú; el cultivo tradicional de cacao se realiza bajo sistemas agroforestales que, además de ser biodiversos, también albergan poblaciones importantes de insectos.

La entomofauna asociada a la flor del cacao juega un papel muy importante en los mecanismos de polinización debido a que la flor del cacao tiene estructuras que evolutivamente corresponden a una flor especializada, por lo tanto, su diseño funcionalmente atrae a pocas especies de insectos, con los cuales ha desarrollado una estrategia de mutualismo; en esta interacción, la flor provee néctar en cantidades reducidas que está disponible únicamente en cortos periodos de tiempo, para insectos diurnos de tamaño pequeño, quienes a cambio contribuyen con el proceso de polinización en el momento en el que la flor esta lista para ser fecundada.

Después de haber analizado varias fuentes bibliográficas se ha determinado que la diversidad de la entomofauna asociada a la flor del cacao es reducida y está compuesta por al menos 34 especies de insectos; sin embargo, 25 de las especies reportadas corresponden al orden Díptera, familia Ceratopogonidae; en este grupo, al menos tres especies son las responsables en mayor grado del proceso de polinización.

En el presente análisis, se concluye que la diversidad y abundancia de los insectos asociados con la flor del cacao juegan un papel fundamental en el

proceso de polinización, sin embargo, hasta ahora en Ecuador se conoce muy poco sobre la ecología de la polinización del cacao y específicamente detalles acerca de las especies que intervienen.

**Palabras clave:** cacao, diversidad, entomófila, insectos, polinización

## 2. ABSTRACT

*Theobroma cacao*, is native from the rainforests of South America, specifically from the amazonian areas of Ecuador, Colombia, and Peru; traditional cocoa cultivation is performed under agroforestry systems, which besides being biodiverse are also house of an important number of insect populations.

The diversity and abundance of insects associated with cacao flowers play an important role in pollination, the cacao flower contains very specialized structures that make their design attractive to a restricted group of insect species. Moreover, a mutualistic relationship has evolved, in which the flower provides nectar in small quantities and only available for short periods of time for small diurnal insects who in return contribute to the pollination process when the flower is ready to be fertilized.

After compiling and analyzing various literature it has been determined that the diversity of the insect fauna associated with cacao flower is small and consists of at least 34 species of insects, moreover 25 species reported correspond to the order Diptera, Ceratopogonidae family; within this group at least three species are responsible in greater degree of the pollination process.

After this thorough analysis, it is concluded that the diversity and abundance of the insects associated to the cacao flower play a key role in the pollination process. However, little is known in Ecuador regarding the ecology nature of the process itself and specifically which are the species that intervene.

**Keywords:** cacao, diversity, entomophilous, insects, pollination

### 3. INTRODUCCIÓN

Las primeras plantas con flores, o angiospermas, aparecieron aproximadamente hace 130 millones de años, durante la primera mitad del período Cretácico y hacia finales de la era Mesozoica (Curtis y Schnek, 2008); actualmente, son el grupo más grande y más importante de plantas desde el punto de vista ecológico y económico ya que configuran la mayoría de los hábitats terrestres en el planeta y proveen alimento y refugio para los organismos que los habitan (Pesantes, 2011).

La polinización realizada por animales es un mecanismo muy importante para el desarrollo de los ecosistemas, tanto desde el punto de vista biológico como económico (Kearns *et al.*, 1998). Se estima que cerca del 90% de las 300.000 especies de angiospermas son polinizadas por animales (Richards, 1986), siendo los insectos el 90% de los polinizadores (Buchmann, 1996).

En las plantas con flor, la polinización realizada por insectos o polinización *entomófila*, es un mecanismo de mutualismo que ha generado varias ventajas para su reproducción y sobrevivencia; en este contexto, mientras más atractivas son las flores para los insectos, resultan más visitadas por ellos y consecuentemente más polinizadas. En este proceso evolutivo se originaron estructuras como los nectarios y los osmóforos, órganos productores de néctar y olores respectivamente, que tienen la función de atraer a los polinizadores a cambio de nutrientes y otros beneficios (Curtis & Schnek, 2008).

La atracción de los polinizadores también implicó la presencia de otros insectos depredadores; por lo tanto, la protección del óvulo fue necesaria a través de la evolución de estructuras como el carpelo cerrado y posteriormente de un

ovario ínfero. Los grupos de insectos especializados en la polinización evolucionaron conjuntamente con las angiospermas durante 50 millones de años, por lo tanto, los insectos polinizadores actualmente son muy abundantes diversos en el planeta y contribuyeron directamente en la diversificación de las angiospermas (Raven *et al.*, 2004).

Cuando una planta es polinizada por organismos, ésta tiende a especializarse en base a las características morfológicas de estos visitantes; en este contexto, muchas modificaciones de las flores han sido desarrolladas como adaptaciones evolutivas que favorecen a los polinizadores (Raven *et al.*, 2004).

La polinización entomófila es realizada por varios tipos de insectos, principalmente por escarabajos, mariposas, abejas, avispas y moscas; en todos los casos, las adaptaciones desarrolladas por las plantas son mecanismos de mutualismo que favorecen a ambos organismos (Kearns *et al.*, 1998).

En términos generales la polinización entomófila es un proceso fundamental en varios cultivos de importancia agrícola. Se estima que alrededor del 30% de los productos de consumo tales como aceites comestibles, medicinas y fibra que utiliza el ser humano dependen de animales polinizadores (Committee on the status of pollinators in North America North America, 2007).

Entre los cultivos de importancia agrícola se encuentra el árbol del cacao, *Theobroma cacao*, el cual posee flores pequeñas con adaptaciones especiales fundamentalmente para una polinización entomófila. Varios estudios han demostrado que los polinizadores del cacao pertenecen principalmente al orden Díptera, siendo la familia Ceratopogonidae la de mayor importancia (Young, 1986).

Por otro lado, el cultivo tradicional de cacao se ha basado en el establecimiento de sistemas agroforestales, en los cuales los productores incorporan una gran variedad de árboles, especialmente forestales y frutales, de los que obtienen diferentes productos para su subsistencia como alimentos y madera. Esta configuración favorece al cultivo del cacao ya que naturalmente es una especie que evolucionó bajo un dosel de bosque (Ramos, 2011). Es importante destacar que los sistemas agroforestales también generan una serie de beneficios, tanto para los productores como para el medio ambiente como la conservación de la biodiversidad (Rios *et al.*, 1997).

## **4. DESARROLLO TEÓRICO**

### **4.1 EL CULTIVO DEL CACAO EN ECUADOR**

El cacao se cultiva en zonas tropicales alrededor del mundo principalmente en América, África y Asia; el cacao para Ecuador es un producto de identidad territorial pues además de ser originario de la región amazónica, también dominó por varios siglos la generación de divisas para el país, antes del boom petrolero, dando lugar al apareamiento de los primeros capitales y desarrollando sectores importantes como la banca, la industria y el comercio (Ríos, 2013).

Actualmente, Ecuador es el quinto productor mundial de cacao con una cosecha anual que alcanzó las 230 mil toneladas métricas en el 2014; constituye una de las principales actividades agrícolas de más de 100.000 pequeños agricultores en zonas rurales de la costa y Amazonia. Las exportaciones de cacao y semi-elaborados generaron cerca de 530 millones de dólares en el año 2014. Se estima que en Ecuador se cultivan alrededor de 450.000 hectáreas de cacao, las cuales en su mayor parte se manejan bajo sistemas agroforestales que mantienen una importante cobertura de sombra. El promedio de producción de cacao seco a nivel nacional es de 6 quintales por hectárea al año el cual es un rendimiento muy bajo en comparación a otros países productores. Entre los principales factores que inciden en el desempeño productivo y el rendimiento del cultivo están la falta de manejo agronómico y la presencia de plagas y enfermedades (Ríos, 2013).

Ecuador por tradición es un importante productor de cacao; y en la actualidad, es reconocido internacionalmente por ser el país proveedor del 70% de la producción mundial de cacao fino y de aroma; el cacao proveniente de las

distintas zonas de producción se diferencia por tener una gran variedad de sabores característicos de cada región (Ríos, 2013).

El cultivo tradicional del cacao implica la asociación con otros árboles que proporcionan la sombra necesaria para su óptimo desarrollo y producción; por lo tanto, estas plantaciones de cacao son sistemas agroecológicos que a su vez generan varios servicios ambientales ya que favorecen la diversidad de especies de flora y fauna típicas de las zonas de producción, funcionan como zonas de amortiguamiento en áreas naturales, facilitan la conectividad entre remanentes de vegetación, aportan con la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico, y funcionan como refugio para varias especies de aves migratorias (Ríos *et al.*, 1997).

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 (Gots y Harvey, 2007). Por otro lado, la diversidad y abundancia de insectos polinizadores en los sistemas agroforestales de cacao puede estar influenciada por varias causas; entre ellas, el ambiente biótico y físico (clima y microclima) y características de las plantaciones, como la cobertura y espaciamiento de los árboles de sombra (Bos, 2007).

#### **4.2 EL ORIGEN DEL CACAO**

Desde el siglo pasado se han propuesto varias teorías sobre el origen y la domesticación del árbol de cacao; en la actualidad, mediante el uso de modernas técnicas de análisis genético y gracias al trabajo multidisciplinario de varios científicos, botánicos, agrónomos y antropólogos se han recopilado evidencias y

hallazgos sorprendentes sobre el origen, domesticación y uso temprano del cacao (Ríos, 2011).

El origen de esta especie corresponde a la región amazónica (cuenca alta del río Amazonas) y comprende países como Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil. En esta región es donde se presenta la mayor variación de la especie. Desde este origen el cacao se extendió hasta llegar a Centroamérica, pero no se sabe si su dispersión ocurrió naturalmente o con la ayuda del hombre. Sigue siendo un misterio el cómo llegó a esta región, donde se ha cultivado por lo menos durante 3.000 años. El cacao también se llevó de Brasil a la colonia portuguesa de Príncipe en 1822 y de ahí a Sao Tomé en 1830, ambas en el Golfo de Guinea. Ghana obtiene el cacao en 1879 y por el año de 1951, actualmente el oeste de África produce más del 60 % de la producción mundial de cacao (Ríos, 2011).

Sin embargo, existieron varias teorías sobre el origen del cacao que se plantearon en el siglo pasado. Por ejemplo, el científico Ruso Nikolay Vavilov, padre de la fitogeografía aplicada propuso la teoría de los centros de origen proponiendo que el origen del cacao estaba en mesoamérica; poco tiempo después, el Dr. F.J. Pound, agrónomo e investigador de Trinidad y Tobago realizó una extensa recolección de variedades de cacao en la cuenca del Amazonas y posteriormente, en año 1944 el científico E. Chessman analiza esta información y propone que el origen del cacao se encuentra en el alto Amazonas en una zona de influencia de alrededor de 400 km de radio en las cercanías de los ríos Napo, Putumayo y afluentes del río Amazonas (Ríos, 2011).

Recientemente, estudios genéticos realizados por el Agrónomo tropical J.C. Motamayor en el año 2008, permitieron reconocer la presencia de 10 grupos genéticos de cacao, los cuales también presentan una correspondencia con el origen geográfico propuesto por Chessman (Estación Experimental Central de la Amazonía, 2009). Se confirma nuevamente que desde el alto Amazonas, ocurrió la dispersión del cacao en tres direcciones Centroamérica, oeste Sudamericano y este Sudamericano (Ríos, 2011).

Hallazgos todavía más sorprendentes, en estudios realizados por científicos ecuatorianos y franceses, revelan el descubrimiento de evidencias arqueológicas contundentes en la cultura Mayo Chinchipe, que datan de hace 3.300 años AC (5.300 años hasta la actualidad). En las excavaciones de esta milenaria cultura ubicada en la actual localidad de Santa Ana, La Florida, del cantón Palanda, Provincia de Zamora Chinchipe se han registrado residuos de cacao en cerámicas y piedras. Este hallazgo que tiene una importancia de carácter global, pues constituye el registro más antiguo del uso del cacao por el ser humano, incluso 2.300 años antes de los registros en las culturas mesoamericanas (Valdéz, 2013).

#### **4.3 DESCRIPCIÓN DE *Theobroma cacao***

El árbol del cacao pertenece al orden Malvales, familia Malvaceae, subfamilia Sterculioidea, género *Theobroma*, el cual está conformado por unas 30 especies (Estación Experimental Central de la Amazonía, 2009). La especie *Theobroma cacao* es la más conocida del género debido a su actual distribución e importancia económica y social. El cacao comercial *Theobroma cacao* ha sido clasificado en tres complejos genéticos amplios denominados: criollos, forasteros y trinitarios (INIAP, 1993).

La morfología del árbol de cacao presenta las siguientes características:

**Estructura.-** Es un árbol de dosel medio, perennifolio, de 4 a 6 m de altura en cultivos bajo sistemas agroforestales y de 3 a 4 m en plantaciones comerciales a pleno sol. El cacao silvestre puede crecer hasta 20 m o más (CONABIO, 2010).

**Dosel.-** Copa baja, densa y extendida; las hojas son grandes, alternas, colgantes, lámina elíptica, de 20 a 35 cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, ápice agudo, ligeramente coriáceas, margen liso, haz de color verde oscuro y envés de color verde claro y pecioladas. Las plantas que se encuentran en etapa de desarrollo inicial desarrollan hojas grandes de color marrón intenso en los brotes terminales (INIAP, 1993).

**Tronco y Ramas.-** El tronco tiene un crecimiento horizontal y vertical, con brotes ortotrópicos o chupones que se desarrollan rápidamente en época lluviosa. Las ramas presentan un crecimiento predominantemente plagiotrópico o en abanico. Las ramas primarias se forman en verticilos terminales con 3 a 6 ramillas; al conjunto se le llama molinillo. Es una especie cauliflora, es decir, las flores se desarrollan sobre el tronco o las viejas ramificaciones (INIAP, 1993).

**Corteza.-** Es de estructura leñosa de color castaño oscuro, agrietada, áspera y delgada en estadios iniciales de desarrollo. La parte interna es de color café y presenta abultamientos denominados cojinetes florales (INIAP, 1993).

**Flores.-** Se desarrollan en los cojinetes florales en racimos a lo largo del tronco y de las ramas, están sostenidas por un pedicelo de 1 a 3 cm. La flor del cacao tiene una estructura pentámera, de color blanco o violeta claro, su tamaño es de 0.5 a 1 cm de diámetro y 2 a 2.5 cm de largo (INIAP, 1993; CONABIO, 2010).

Fruto.- Es una baya de tamaño, color y forma variada, comúnmente denominada "mazorca", su corteza es dura, generalmente oblonga, ovalada o amelonada, de color amarillo, rojo o purpúrea, de 15 a 30 cm de largo por 7 a 10 cm de ancho, superficie lisa o rugosa con comisuras longitudinales (Figura 2); cada mazorca contiene entre 30 y 40 semillas dispuestas en placentación axial y cubiertas de una pulpa (CONABIO, 2010).

Semilla.- De tamaño variado con dos cotiledones de color púrpura, de 2 a 3 cm de largo y de sabor amargo. Están recubiertas por una pulpa de color blanco y de sabor dulce y acidulado. Las semillas de cacao son ricas en almidón, proteínas, grasa oleica y sustancias antioxidantes (Enríquez, 1985). *Theobroma cacao* no desarrolla un arilo pero la pared de su fruto se mantiene unida la testa hasta la madurez, de manera que la pulpa del fruto está tan unida a la semilla que podría confundirse con un arilo (Fajardo *et al.*, 2012).

Raíz.- El cacao posee una raíz pivotante que en condiciones favorables puede penetrar más de 2 m de profundidad, favoreciendo el reciclaje de nutrientes y de un extenso sistema superficial de raíces laterales distribuidas alrededor de 15 a 30 cm por debajo de la superficie (INIAP, 1993).

Genoma.- El genoma del cacao es diploide y comprende 10 pares de cromosomas. En la secuencia del genoma de cacao se han identificado 28.798 genes codificadores de proteínas (MARS *et al.*, 2015).

Adaptación.- Especie de fácil adaptación. Presenta una gran variabilidad genética y adaptación a distintos pisos térmicos, en condiciones muy variables de clima y suelo (Enríquez, 1985).

### 4.3.1 BIOLOGÍA FLORAL

La relación existente entre insectos y plantas con flor es el mutualismo, esta característica es tan fuerte que sería difícil imaginar a las angiospermas actuales sin la presencia de insectos polinizadores. El néctar que producen las flores contiene sustancias como la sucrosa, glucosa, fructosa y en algunos casos aminoácidos. El néctar y el polen no son los únicos beneficios que produce una flor para sus polinizadores, otras estructuras de la flor también pueden producir sustancias como resinas, aceites, exudados e incluso atrayentes sexuales (Price, 1997).

Especies como el cacao dependen en gran medida de relaciones mutualistas, generadas con sus polinizadores (planta-polinizador) y en estado natural con las especies que funcionan como dispersores de semillas (Price, 1997). Existen dos hipótesis que sustentan este hecho:

- 1) Los insectos polinizadores permiten el cruzamiento genético de especies de plantas incluso en individuos que están dispersos o aislados.
- 2) La dependencia de insectos polinizadores se vuelve importante en especies en las que la dispersión de sus semillas ha sido posible por especies como las aves.

Si bien el néctar de las flores es una fuente importante de energía para los polinizadores, esto también implicaba que las fuentes de proteína debían ser encontradas en otras fuentes; sin embargo, si el abastecimiento de proteína podría darse en las mismas flores esto haría que los insectos sean más eficientes en la alimentación y en la polinización. En los estudios realizados por Baker y Baker (1978) se encontraron concentraciones significativas de aminoácidos en

266 especies de flores con lo cual determinó que este hecho no es una característica fortuita sino más bien una importante adaptación evolutiva (Price, 1997).

Sin embargo, en flores poco especializadas tanto el néctar como el polen están disponibles para todos los polinizadores por lo tanto no es necesario contar con un suplemento de aminoácidos en el néctar (Price, 1997).

La evolución en las flores tiende a restringir las visitas de ciertas poblaciones de polinizadores a una sola especie, lo cual implica una adaptación especializada para las dos partes (Price, 1997).

Por otro lado, los polinizadores no se restringen a visitar una sola planta y por lo tanto, la cantidad de néctar secretado por cada flor y por toda la planta en un tiempo determinado debe ser ajustado de manera precisa (Price, 1997).

Finalmente, una planta únicamente puede controlar la recompensa calórica con relación a un determinado organismo ya que cada organismo tiene diferentes requerimientos energéticos (Price, 1997).

El cacao es una planta cauliflora ya que sus flores se forman principalmente en el tronco principal y en las ramas secundarias en estructuras denominadas cojinetes o almohadillas florales. Las estructuras florales nacen endógenamente del floema. Típicamente, el período desde el momento en el que emerge un botón floral hasta su apertura es de aproximadamente 30 días y este proceso está influenciado directamente por los factores climáticos del entorno.

Normalmente, hay una fuerte producción de flores con las primeras lluvias después de una época seca; esto hace que en algunas zonas productivas los

períodos de cosecha sean muy marcados y definidos; sin embargo, en otras zonas no existen períodos de lluvia y sequía marcados, por lo tanto, la floración es permanente y está influenciada principalmente por las horas de luz (Enríquez, 1985).

El botón de una flor de cacao inicia su apertura después del mediodía, este proceso inicia con movimientos muy lentos de los sépalos que dan paso a su separación, la hora en la que se produce la mayor apertura de los botones es al finalizar la tarde (5:00 pm) especialmente cuando hay menos humedad y más luz; este proceso continúa durante toda la noche. En general, las anteras ya están abiertas en la mañana y los granos de polen listos para el proceso de fecundación (Enríquez, 1985).

Una planta de cacao produce en promedio  $4554 \pm 687$  flores en seis meses, en donde la polinización efectiva, que posteriormente formará un fruto, es de solo el 5,2% (Abrol, 2011). Entre los factores más importantes que afectan la producción está el ataque de enfermedades fungosas como la monilia que es producida por el hongo (*Moniliophthora roreri*), y las variaciones en las poblaciones de insectos polinizadores que pueden estar relacionadas con el manejo del cultivo (Young, 1982).

El grano de polen del cacao es pequeño, esférico y pegajoso y por estas características se agrupa para formar conglomerados que tienen varios cientos de granos. En varios estudios realizados se reporta que el polen del cacao es transportado por un número reducido de insectos, principalmente de algunas especies del género *Forcipomyia* y en algunos casos tripsidos del género *Frankliniella* (Enríquez, 1985).

En estudios previos se ha demostrado que al menos la mitad de los insectos encontrados en un agro ecosistema de cacao no visitan la flor de cacao; por otro lado, varios de los visitantes no acarreaban polen, únicamente insectos del grupo de los Ceratopogonidae del orden Díptera fueron identificados como importantes polinizadores de la flor de cacao. El ecosistema de cacao puede albergar una gran diversidad de insectos; sin embargo, la evolución de la estructura floral restringe el acceso a la mayoría de insectos y permite únicamente que unos pocos puedan realizar el trabajo de polinización (Adjaloo y Oduro, 2013).

#### **4.3.2 LA ESTRUCTURA DE LA FLOR DEL CACAO**

La flor del cacao (Figura 1) es hermafrodita o perfecta ya que posee todas las estructuras masculinas y femeninas; su longitud varía de 1 a 3 centímetros, con un diámetro que fluctúa entre 0,5 y 1 centímetro; su fórmula floral es (INIAP, 1993):

**\*;S5; P5; E5 + 5°; G(5); baya**

\*: Flor con estructura radial.

S5: Cáliz formado por cinco sépalos carnosos de color blanco o rosado fusionados en la base, se abren para formar una base que protege el resto de la estructura floral.

P5: La corola posee 5 pétalos, de 6 a 9 milímetros que están alternados con los sépalos y presentan una estructura a manera de pliegue denominada cógula o concha que es de color blanco y posee dos nervaduras que le dan resistencia. Esta estructura funciona como una capsula que cubre a las anteras.

E5 + 5°: Corresponde al androceo o parte masculina de flor, está conformado por 5 estambres fértiles y 5 estaminodios alargados que rodean y protegen al pistilo.

Los estambres están protegidos por una estructura capsular denominada cógula. Las anteras poseen 4 sacos de polen con dehiscencia longitudinal.

G(5): El órgano femenino de la flor o gineceo está formado por el pistilo el cual tiene tres partes (estigma, estilo y ovario). El ovario es súpero y está compuesto por 5 carpelos con una placenta central conectada a los óvulos que pueden estar en un número de 30 a 50.

La flor del cacao posee estructuras que están hechas para impedir una polinización fácil, pues su polen no está al alcance de todos los insectos que la visitan o se alimentan de ella; especies de Hymenopteros como la abeja común o los melipóninos, por ejemplo, son incapaces de impregnarse de polen de cacao debido a la barrera física que crean los pétalos sobre las anteras (Figura 1). El viento tampoco es un buen factor de polinización, porque el polen del cacao se humedece rápidamente en la selva y por lo tanto adquiere peso y cae (Córdoba *et al.*, 2013).

#### **4.3.3 EL POLEN DEL CACAO**

Las flores polinizadas por insectos producen gran cantidad de polen que a menudo es liso y pequeño (Raven *et al.*, 2004).

En general la viabilidad del polen de las plantas en estado natural es bastante corto; en el caso de la flor del cacao, cuando esta se abre, este período es de 48 horas y en algunas condiciones especiales puede llegar hasta 72 (INIAP, 1993). En cuanto a las características físicas del polen de *Theobroma cacao* encontramos que éste es bastante pequeño ya que posee un tamaño promedio de 16 x 17  $\mu\text{m}$ , su forma es esférica o suboblato - esférico, con una estratificación tejilada, diseño reticulado y de apertura tricolada (IICA y CATIE, 1964).

#### 4.4 ECOLOGÍA DEL ÁRBOL DE CACAO

El género *Theobroma* se encuentra en estado natural en los pisos inferiores de las selvas húmedas de América tropical y prospera mejor hasta una altitud de 1.200 m (INIAP, 1993).

Naturalmente el cacao es una especie umbrófila ya que evolucionó bajo un dosel cerrado. Este árbol se cultiva bajo la sombra de árboles más grandes pues requiere protección para su desarrollo normal y producción. Comparte el segundo y tercer estrato en las selvas tropicales. El cacao florece durante casi todo el año (principalmente entre junio y septiembre). Los frutos maduran en un periodo de 5 meses y dependiendo de la zona de producción se generan picos de cosecha marcados, (INIAP, 1993).

El cacao crece en áreas de topografía plana u ondulada se desarrolla mejor en zonas cálidas con pocas fluctuaciones de temperatura y humedad. La precipitación promedio debe ser de 1.300 a 2.800 mm por año con una estación seca corta. El clima debe ser constantemente húmedo, con temperatura media diaria entre 20 y 30 °C, con una mínima de 16 °C. Para su pleno desarrollo exige suelos profundos, fértiles y bien drenados (INIAP, 1993).

Las flores del cacao son receptivas para su fecundación desde las primeras horas de la mañana; sin embargo, a pesar de que el polen puede mantenerse viable hasta por un período de tres días una porción muy grande de las flores no son polinizadas y se desprenden después de 48 horas (INIAP, 1993).

Compatibilidad.- Los árboles de cacao dependiendo de su variedad han desarrollado diferentes niveles de compatibilidad con la finalidad de favorecer la fecundación cruzada y mantener la formación de individuos heterocigotos; a pesar

de que los mecanismos de autoincompatibilidad son bastante eficientes no excluye por completo la autofecundación (INIAP, 1993).

Dispersión.- Entre los agentes de dispersión se encuentran los monos, ardillas, murciélagos, loros y posteriormente las corrientes de agua. Los monos ocupan un lugar preponderante ya que se alimentan de los frutos del cacao aprovechando su pulpa y los nutrientes de los cotiledones en este proceso acarrear las semillas a otros lugares en donde germinan rápidamente. Las mazorcas que maduran en el árbol se secan y caen; por lo tanto, en su ciclo de vida natural el árbol del cacao depende de animales arborícolas como dispersores primarios para completar el proceso de germinación (Enríquez, 1985).

Germinación.- Las semillas, una vez retiradas del fruto, germinan rápidamente, a los 4 ó 6 días después de la siembra. Emergen primero la raíz y el hipocótilo, lo que ocasiona que los cotiledones se eleven por encima del nivel del suelo (10 a 15 días después de la siembra). Desarrollo de la semilla y el fruto: el cigoto comienza a dividirse de 40 a 50 días después de la polinización. La mazorca joven crece junto con los óvulos lentamente en un principio los primeros 40 días después de la siembra, después crece más rápido y alcanza su máximo alrededor de los 75 días. Un segundo período de crecimiento comienza más o menos a los 85 días después de la siembra, que es cuando la mazorca y el óvulo disminuyen su crecimiento a expensas del crecimiento del embrión, el óvulo se encuentra ahora lleno de un endospermo gelatinosos que es consumido por el embrión aproximadamente 140 días después de la siembra. La tasa de crecimiento cesa entonces hasta la madurez. Los frutos maduran y pueden cosecharse a los 5 ó 7 meses. El número de semillas por kilogramo de cacao seco varía según el tipo de cacao entre 400 a 500 (INIAP, 1993 y CONABIO, 2010).

Crecimiento.- Los cotiledones abren exponiendo a la plúmula, la cual empieza a crecer al mismo tiempo que la raíz pero es mucho más pequeña. La primera fase de crecimiento termina con la maduración de las primeras hojas. Aparecen brotes subsecuentes a intervalos de 6 semanas, cuyas hojas se encuentran bien espaciadas con un arreglo en espiral. La planta emprende su siguiente fase de crecimiento entre el segundo y cuarto año de edad mediante la formación de su primer molinillo. Cinco yemas en un eje común del extremo terminal de la planta crecen simultáneamente y en apariencia al mismo nivel, debido a la reducción extrema de los entrenudos entre las hojas. Las yemas que emergen muestran un hábito de crecimiento horizontal, lateral o plagiotrópico y se denominan brotes de abanico, mientras que el tallo crece hacia arriba y es de naturaleza ortotrópica. Después de algunos años puede empezar a crecer un nuevo chupón justo debajo de la unión del primer molinillo y cuando alcanza cierta longitud se forma un nuevo molinillo (INIAP, 1993).

Sombra.- La intensidad adecuada de sombra para las plantas de cacao es un factor clave ya que influencia otros factores como la temperatura, la humedad relativa, evaporación y disponibilidad de agua en el suelo además de factores que influyen en la fertilidad de la plantación como el tiempo para la incorporación de hojarasca que sumados afectan tanto el crecimiento del cacao como su producción (Beer *et al.*, 1998). Se destaca que las plántulas de cacao deben ser sembradas bajo sombra ya que así mantienen mayores concentraciones de clorofila que influye en mayores tasas de asimilación de CO<sub>2</sub>. Un aspecto importante, ya descrito para otros cultivos, es la variabilidad de respuestas que se pueden encontrar en los diferentes cultivares ante variaciones de los diferentes

parámetros como lo es la temperatura y luz y disponibilidad de agua (Jaimez *et al.*, 2008).

Aspectos del cultivo.- Entre los factores críticos para el desarrollo del cultivo están la temperatura y la lluvia. Demanda baja tecnología y pocos insumos. Requiere de árboles que le proporcionen sombra para su mejor desarrollo (INIAP, 1993).

Los árboles de sombra más comúnmente utilizados son: *Erythrina* sp., *Gliricidia sepium*, *Diphysa robinoides*, *Colubrina arborescens*, *Cedrela odorata* y *Tabebuia rosea*. La poda y la regulación de sombra son las prácticas más importantes (Ríos *et al.*, 1997).

En las primeras etapas del cultivo es importante mantener una sombra intensa, la cual se va reduciendo hasta lograr una sombra ligera en las etapas posteriores. Podar al final de la época seca o al inicio de las lluvias es una condición indispensable asegurando que esta actividad no se realice en etapas intermedias (INIAP, 1993).

El trasplante de las plántulas se hace a los 4 ó 5 meses (50 a 60 cm de altura), con follaje sano. El espaciamiento tradicional entre plantas es de 4x4 (625 plantas por ha) en plantaciones tradicionales, pero en la actualidad la densidad más adecuada en función de tiempo y espacio para plantaciones comerciales es de 3 x 3 (1.111 plantas por ha). Es importante tener en cuenta los caracteres de autocompatibilidad e intercompatibilidad cuando se vayan a establecer plantaciones clonales (INIAP, 1993).

Entomofauna.- Los insectos que frecuentan el árbol de cacao pertenecen en su mayoría a los órdenes Hymenoptera, Díptera, Orthoptera, y Coleoptera.

Globalmente se ha estimado que existen al menos 1.500 especies asociadas con el cultivo de cacao (Entwistle, 1972).

#### **4.5 LA POLINIZACIÓN DEL CACAO**

La polinización de las plantas es la transmisión del polen hacia los estigmas de otra planta, logrando la fecundación del óvulo y la generación de un nuevo fruto. El ciclo de la producción de cacao, desde la polinización hasta el fruto maduro (listo para cosechar) es, en condiciones normales, de 5 a 6 meses (INIAP, 1993).

Existe muy poca información o estudios detallados sobre el mecanismo de polinización del cacao; por ejemplo, se desconoce la cantidad necesaria de granos de polen que se requieren para fecundar el ovario o para que se produzca la caída de la flor. Sin embargo, considerando el número promedio de semillas en una mazorca de cacao, podemos deducir de por lo menos se requieren de una cantidad aproximada de 60 granos de polen por flor para fecundar a las semillas de una mazorca (com, pers.).

La polinización del cacao es en su mayoría de tipo cruzada, lo que significa que es necesario que un agente lleve el polen de un árbol donador a otro receptor mediante insectos. Muchas variedades de cacao tienen la característica genética de que no pueden auto polinizarse. 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, 1985). 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, 1982).

Por lo general, las flores que se han abierto por la mañana tienen anteras que ya han liberado el polen el cual se encuentra listo para el proceso de polinización; según varios investigadores, el estigma es usualmente polinizado en un período de dos a tres horas posteriores a la apertura de la flor, aunque ésta posteriormente puede permanecer abierta durante todo el día (Cheeseman, 1930).

En condiciones normales las flores que no han sido polinizadas son descartadas rápidamente; sin embargo, cuando las poblaciones de polinizadores son reducidas o cuando se siembra material auto incompatible el desarrollo de frutos en el árbol es limitado. Si la flor no es polinizada se desprende para el próximo día (Summer, 1962).

Estudios realizados por Cheeseman (1932), concluyeron erróneamente que la flor del cacao no producía olores atractivos o néctar; sin embargo, Stejskal (1969) identificó dos tipos de nectarios de tamaño microscópico y posteriormente demostró que las flores del cacao sí producían néctar y que expedían un olor que atraía mosquitos y algunos lepidópteros (Stejskal, 1969).

Por otro lado, si analizamos la morfología de la flor del cacao se puede deducir que únicamente son insectos de tamaño pequeño los agentes responsables de la polinización; algunos autores le dan el crédito a pequeños dípteros del género *Forcipomyia* y *Lasiohela* mientras que otros han sugerido que se trata también de áfidos, trípodos, y abejas silvestres (Córdoba *et al.*, 2013). De todos estos posibles candidatos, actualmente se han descartado a las abejas silvestres ya que por su

tamaño no le es posible acceder a las anteras que están cubiertas por la cógula que es una capsula formada por los pétalos de la flor (Figura 1), este mecanismo de protección es una barrera física que sugiere que el polinizador del cacao es un insecto pequeño capaz de movilizarse por toda la flor.

Se ha reportado que algunos áfidos y varias especies de hormigas (*Crematogaster* sp. y *Ectatomma tuberculatum*) también efectúan la polinización en el cultivo de cacao. Estudios previos realizados en plantaciones de centro América revelaron que únicamente un 5% de las flores de árboles no infestados con hormigas y áfidos pudieron ser polinizadas y de ellas sólo un 0.3% desarrollaron fruto; mientras que en árboles con fuertes infestaciones de estos insectos, un 35% de las flores eran polinizadas y un 2% de ellas desarrollaron fruta (Harland, 1924).

En la actualidad se ha determinado que el principal agente polinizador del cacao es una activa y pequeña mosquita (*Forcipomyia* sp.), que se ha encontrado en todas las áreas donde se cultiva el cacao. Estos dípteros pueden volar de un árbol a otro hasta una distancia de 60 m y tienen actividad durante el día después de las 8:00 am.

Los insectos polinizadores son relativamente escasos en las plantaciones de cacao especialmente en sistemas que han sido simplificados en su estructura de sistemas agroforestales a sistemas intensivos, reduciendo la cantidad de materia orgánica como la hojarasca, que es el micro hábitat para el desarrollo de insectos polinizadores (Young, 1982).

El proceso lógico en los cultivos de cacao con bajos niveles de polinización es mejorar los métodos culturales necesarios para el mantenimiento de las

poblaciones de polinizadores; por lo tanto, la naturaleza de incompatibilidad únicamente se compensa mediante una polinización cruzada natural, es así que, el servicio de polinización ofrecido por insectos especialmente acondicionados para esta labor es de importancia vital para el éxito en los rendimientos del cultivo (Ramos, 2011).

#### **4.6 DIVERSIDAD DE INSECTOS EN LA FLOR DEL CACAO**

La diversidad de especies de una comunidad es la variedad de los distintos tipos de organismos que forman la comunidad, este concepto tiene dos componentes que lo complementan. El primero es la riqueza de especies que representa el número total de especies diferentes en la comunidad. El segundo componente corresponde a la abundancia relativa de las especies, que es la proporción de cada especie en el número total de individuos de la comunidad (Campbell y Reece, 2007).

En un estudio reciente para determinar la diversidad de polinizadores, desarrollado en África, se realizaron importantes colecciones de insectos en época de floración. En este contexto, se catalogaron 2.721 insectos pertenecientes a 7 órdenes y 36 especies pero de éstas únicamente aquellas aladas fueron las que se reportaron asociadas a las flores del cacao (Adjaloo y Oduro, 2013).

En otros estudios se pudo determinar que los trípodos y los áfidos se mueven muy poco entre los árboles mientras que las hormigas y meliponinos son únicamente visitantes ocasionales de las flores del cacao. Ya en el año de 1958 el científico Glendenning concluye que los dípteros del género *Forcipomyia*, son los principales polinizadores del cacao, pues reportó el doble de los servicios de

polinización realizado por otras especies. Estos resultados fueron verificados en varios experimentos mediante el uso de bolsas de exclusión con diferentes tipos de insectos sobre flores de cacao (Pesantes, 2011).

En las plantaciones de cacao, existen diversas especies de hormigas, muchas de ellas tienen un comportamiento territorial y son dominantes, estas plantaciones se disponen espacialmente en forma de mosaico y como resultado tenemos que la mayoría de los árboles son forrajeados por una de estas especies de hormigas que provocan diferentes efectos en cada árbol perteneciente a su territorio (Bentley, 1977). Esta disposición espacial, particular de las plantaciones se mantiene constante debido a una competencia interespecífica por parte de las especies de hormigas. De esta manera, factores como la aplicación de insecticidas puede provocar dispersión, y por lo tanto, desbalance de la polinización (Leston, 1970).

Las recolecciones de insectos presentes en las plantaciones de cacao realizadas por Soetardi indicaron la presencia de 30 especies de organismos, de las cuales un 23,3%, o siete especies, eran hormigas polinizadoras de la flor de los árboles de cacao (Soetardi, 1950). Morfológicamente, esta flor tiende a ser de difícil acceso a su interior para insectos caminadores (Feinsinger & Swarm, 1978), razón por la cual la presencia de hormigas es poco frecuente en el interior de las flores del cacao (Janzen, 1977).

En un estudio realizado en la zona cacaotera de Barlovento en Venezuela se realizaron colecciones de flores de cacao para determinar la presencia de hormigas; en el estudio denominado Interacción Hormiga Polinizador en Cacao de las 434 flores observadas de *Theobroma cacao*, el porcentaje que tenía hormigas

fue del 24%. Solo cuatro especies de hormigas se presentaron sobre las flores; de éstas las que se encontraron con mayor frecuencia fueron: *Solenopsis* sp., y *Wasmannia auropunctata*, que constituyen las especies de hormigas más pequeñas; Es importante destacar que las hormigas del género *Solenopsis*, dependen de los hemípteros asociados a las flores. En este estudio también se encontraron otras especies de hormigas como son *Azteca foreli* y *Monacis bispinosa* pero en una proporción mucho menor (Goitia *et al.*, 1992).

Una característica particular de las plantaciones de cacao a lo largo del mundo, es que pocas especies de hormigas son de carácter dominante y separan a otras especies de hormigas de su territorio (Taylor, 1977). Esto brinda una explicación para la diferencia de especies de hormigas presentes en las muestras obtenidas de plantaciones comerciales comparadas con las muestras de plantaciones rústicas (Jaffe *et al.*, 1986). En sistemas agroforestales existe una mayor variedad de especies de hormigas, pero con una densidad de población menor, debido a su diversidad de flora (Entwistle, 1972).

La presencia de una variedad de especies de hormigas en una plantación de cacao puede fomentar la producción, es por esto que se debe tomar en cuenta el manejo de estas especies para el mantenimiento efectivo en los cultivos de cacao (Jaffe *et al.*, 1986).

#### **4.7 DIVERSIDAD DE INSECTOS POLINIZADORES DEL CACAO**

Hasta la actualidad, no existe un consenso sobre cuál es el principal insecto responsable de la polinización del cacao. Se citan por ejemplo: *Forcipomyia quasiigrammi* y *Lasiohella nana*, a las hormigas *Crematogaster* sp., algunas especies de áfidos *Aphis gossypii* y *Toxoptera aurantii*, especies de tripsidos

*Frankliniella parvula* y algunas abejas silvestres aunque este grupo ha sido descartado pues el tamaño de los individuos no les permite acceder a las estructuras florales. Otras especies que podrían considerarse en base a observaciones son las hormigas *Wasmannia suropunctata* y *Solenopsis geminata* (Córdoba *et al.*, 2013).

En lo referente a los áfidos o pulgones (Hemiptera: Aphididae) que se encontraron en hojas, flores y frutos de cacao, la literatura señala la existencia de dos especies: *Aphis gossypii* y *Toxoptera aurantii*, sin embargo, todos los diagnósticos realizados en Bocas del Toro, Panamá, señalan la presencia únicamente del género *Toxoptera* (Córdoba *et al.*, 2013).

Existen diversas especies de insectos que cumplen con el rol de polinizadores de cacao. En el caso de Ecuador, las especies que visitan la flor de cacao con más frecuencia son: *Frankliniella parvula* (Thripidae), *Toxoptera auranti* (Aphididae), *Solenopsis* sp., *Pheidole* sp., *Wasmannia auropunctata*, *Crematogaster* sp., *Paratrechina* sp., *Brachimirex* sp., (Formicidae), y *Forcipomyia* sp, (Ceratopogonidae), que es la especie de polinizadores más frecuente. Todos estos organismos tienen características particulares que les permiten ser polinizadores de la flor de cacao. La primera es la capacidad de volar grandes distancias, la habilidad de transportar grandes cantidades de polen, y finalmente, su tamaño pequeño que les permite el acceso al interior de la flor. (INIAP, 1993).

Existen 1095 especies de Ceratopogonidae descritas en la región Neotropical, aunque existen muchas especies que todavía no han sido descritas, particularmente de los géneros: *Forcipomyia*, *Atrichopogon*, *Dasyhelea* y *Stilobezzia*. Las especies de esta familia pueden ser halladas en todas las

altitudes y virtualmente en todo tipo de hábitat en donde exista al algo de humedad (Borkent y Spinelli, 2007).

Es generalmente aceptado que los Ceratopogónidos, especialmente los géneros *Atrichopogon*, *Dasyhelea*, y *Forcipomyia*, son los principales polinizadores del cacao (Tabla 1). Este último género, figura como el polinizador más efectivo (Soria, 1970).

Todos los miembros de la familia Ceratopogonidae se desarrollan a partir de huevos, que son depositados en sustratos húmedos y en algunas especies directamente en el agua, también poseen un estadio larvario con un proceso de maduración que implica hasta cuatro mudas; posteriormente, las larvas forman una pupa y finalmente individuos adultos. Las larvas de esta familia son detritívoros o predadores en sistemas acuáticos y se encuentran en diferente micro hábitats como orificios de troncos, flores tropicales, hojarasca, y sistemas hídricos. En las zonas del tropicales de América del Sur los Ceratopogonidae en estadios inmaduros fon una fuente importante de alimento para otros insectos y peces (Borkent y Spinelli, 2007).

Los principales polinizadores del cacao son los Dípteros del género *Forcipomyia*, estos son insectos diminutos que tienen características poco perceptibles para el ojo humano; debido a su tamaño son capaces de llegar fácilmente al polen de la flor del cacao, en este caso la cápsula que forman los pétalos le otorgan incluso un refugio que les permite movilizarse de manera segura; las “mosquitas” son más abundantes en ambientes naturales que en las plantaciones comerciales, y son uno de los principales factores en la producción de semillas de cacao (Borkent y Spinelli, 2007).

Varios estudios han demostrado que solo las hembras del género *Forcipomyia* son los individuos que polinizan las flores del cacao (De la Cruz y Soria, 1973). Sin embargo, otro género, *Atrichopogon*, también figura como uno de los polinizadores predominantes del cultivo del cacao pero a diferencia de *Forcipomyia*, exhibe una estrategia en la cual tanto los machos como las hembras visitan las flores por carbohidratos y las hembras perforan los granos de polen en busca de proteína (Young, 1983).

En el caso de *Forcipomyia*, su población es más abundante en temporada de lluvia, y tienen la tendencia a formar colonias en las cáscaras de cacao y hojarasca. Por esta razón, es clave mantener y aumentar los sitios de crianza de este mosquito, para así, estimular una mayor acción polinizadora. Un ejemplo de esto, es dejar las cáscaras de cacao regados uniformemente a lo largo de la plantación (INIAP, 1993).

Dentro del género *Forcipomyia*, algunas especies 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). Al mismo tiempo, se observa la especialización en la complejidad de la estructura de la flor del cacao, la cual parece exclusivamente adaptada para que estos insectos sean los que la polinicen (Goitia *et al.*, 1992).

Aunque los dípteros de del género *Forcipomyia* son los insectos de mayor importancia como polinizadores en el cacao, falta información que establezca claramente el mecanismo realizado, los detalles de las relaciones ecológicas existentes y la diversidad de especies en diferentes áreas de producción.

La colección incluye 178 ejemplares adultos pertenecientes a 27 especies, de las cuales 24 corresponden al género *Forcipomyia* (Tabla 2). El material fue colectado manualmente sobre plantas de cacao en las principales zonas productoras de este cultivo en Venezuela. Los ejemplares están montados en láminas portaobjeto en bálsamo de Canadá según la metodología de Wirth y Marston (1968). La identificación de los especímenes ha sido realizada por el Dr. Gustavo Spinelli y Andrea Dippolito, ambos de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. La colección está a disposición de los investigadores interesados (Sánchez *et al.*, 2001).

La proporción de Ceratopogónidos en suelos cubiertos de desechos orgánicos propios de la selva (tallos y cáscaras de plátano por ejemplo) contribuye a aumentar en una proporción de 10 a 1 la abundancia de estos insectos con respecto a las plantaciones que poseen pocos desechos orgánicos.

Los dípteros del género *Forcipomyia* depositan sus huevos en la materia orgánica descompuesta. En las plantaciones en las que se usan insumos químicos y que poseen poca cobertura vegetal se encuentra una menor de polinizadores. En este contexto, la producción en su mayoría es orgánica y tiende a conservar una buena capa de materia orgánica. La abundancia de polinizadores es fundamental para lograr una producción de cacao rentable (Ramos, 2011).

El caso de las plantaciones de Costa de Marfil que se desarrollan en climas con períodos secos prolongados en donde la materia en descomposición se seca o desaparece los períodos largos de verano afecta directamente a las poblaciones de polinizadores reduciendo su número de manera drástica. En estos ambientes, algunos investigadores han descubierto que conservando sobre el suelo una

abundante masa de tallos de banano se puede ayudar a conservar una población estable de ceratopogónidos, porque el tallo del banano es hueco y con cavidades, lo que ayudan a mantener una buena humedad durante todo el año, formando así colonias permanentes de polinizadores y larvas protegidas en un medio ambiente húmedo y nutritivo.

La polinización de cacao por Ceratopogónidos es altamente dependiente de las poblaciones de mosquitos con los ciclos de floración; y por otro lado, la abundancia de mosquitos también está influenciada directamente con la abundancia de flores (Young, 1983).

Las variables ligadas a los ritmos poblacionales de los insectos polinizadores del cacao como su disponibilidad, tamaño, especie y sexo, y las variables asociadas a los ritmos de la floración como la viabilidad y disponibilidad del polen, determinan el modelo de fluctuación de la polinización (Soria, 1977). Sin embargo, también existen otros factores ambientales como el clima, la humedad y la incidencia de luz que son variables que también influyen sobre la polinización.

El género *Forcipomyia*, está calificado como el principal agente polinizador del cacao, dentro de este, se ha encontrado que las especies de *Forcipomyia eurousjoannisia*, *F. squamipennis*, *F. ashantii*, *F. castanea* 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). En Costa Rica, las especies más eficientes de *Forcipomyia* teniendo en cuenta número y frecuencia de actividad polinizadora fueron: *F. blantoni*, *F. tuberculata* y *Forcipomyia* sp. (Soria et al., 1980). En Ghana, las especies de *Forcipomyia Euprojoannisia*, *F. ashantii* y *F. lepidohalea*, son las más eficientes (Ramos,

2011). Mientras que otros autores reportan que *Forcipomyia inornatipennis* ha probado ser mejor polinizador que otras especies como *F. castanea* y *F. squamipennis* (Ramos, 2011).

#### **4.8 FACTORES PARA LA DIVERSIDAD DE POLINIZADORES**

Es importante destacar que durante el proceso de evolución las flores se adaptaron para restringir las poblaciones de polinizadores reduciendo su número a unos pocos o incluso a una especie. En este contexto los animales que requieren grandes cantidades de energía no utilizarán especies que producen pocas cantidades de néctar y aquellas especies que producen grandes cantidades de néctar han desarrollado estructuras de protección ante organismos pequeños que pueden utilizar el néctar sin contribuir con el proceso de polinización (Price, 1997).

La forma, color y los olores generados por una flor también son características adaptadas para restringir la presencia de polinizadores; por ejemplo algunas flores se abren y secretan néctar por pocas horas en la noche para que estos recursos estén disponibles para especies de murciélagos o mariposas nocturnas y que no estén disponibles para los insectos diurnos o aves (Price, 1997).

#### **4.9 LA ABUNDANCIA DE LOS POLINIZADORES**

En un estudio de polinizadores del cacao realizado en Brasil se reportó una abundancia de entre 3.000 hasta 300.000 polinizadores por hectárea en cacaotales (Winder, 1977); en otra investigación sobre polinizadores realizada en Venezuela se reportaron entre 0,9 y 2,8 polinizadores por árbol equivalentes a 550-1800 polinizadores por hectárea (Narváez y Marín, 1996).

Recientemente, en el año 2013 en Panamá, se determinó las amplias diferencias en la abundancia de polinizadores entre las parcelas estudiadas; las variaciones encontradas estaban influenciadas por la disponibilidad del hábitat necesario para la reproducción de los polinizadores como: montículos de hojarasca, cáscaras de cacao en descomposición y humedad en las plantaciones (Kaufmann, 1987). En los sistemas agroforestales de cacao en Bocas del Toro, Panamá es posible encontrar una abundancia de polinizadores entre 1700 y 19.500 individuos por hectárea; en otros lugares, la variación puede ser todavía mayor (Córdoba *et al.*, 2013).

En el estudio de polinizadores, polinización y producción potencial de cacao en sistemas agroforestales de Bocas del Toro, las diferencias de abundancias entre géneros de polinizadores encontrados parecen pequeñas cuando el análisis se realiza por metro cuadrado o por kilogramo de hojarasca, pero este cálculo en áreas mayores refleja diferencias sustanciales. Por ejemplo, tomando como referencia una hectárea se encontrarían 3.000 y 8.000 individuos más de *Forcipomyia* en comparación con *Dasyhelea* y *Atrichopogon*, respectivamente. Esa cantidad de polinizadores podría influir significativamente en la polinización de flores (Córdoba *et al.*, 2013).

Por otro lado, se observó que los dípteros del género *Forcipomyia* proliferan mejor en capas de hojarasca más gruesas pero no dependen tanto de la humedad de la misma. En cambio los géneros *Dasyhelea* y *Atrichopogon* serían más dependientes de la humedad. En todos los análisis se reportó una mayor abundancia del *Forcipomyia* (Córdoba *et al.*, 2013).

#### **4.10 FACTORES PARA LA ABUNDANCIA DE POLINIZADORES**

La sombra que provee el dosel superior, en sistemas agroforestales, es un elemento clave para el cultivo de cacao, especialmente en las plantaciones tradicionales que tienen variedades de cacao de tipo forastero; en este contexto, la cantidad, tipo y diversidad de especies forestales para la sombra son elementos clave ya que la falta o carencia de la misma afecta directamente el desempeño del cultivo (Ríos *et al.*, 1997).

En estudios previos se observó que a mayor cantidad de plantas en el dosel, más densa es la sombra, que impide la entrada de luz y disminuye la floración de cacao, lo que desalienta el crecimiento de insectos polinizadores y su actividad de polinización (Young, 1982).

Las condiciones más óptimas para una buena floración se presentan en zonas que tienen precipitaciones superiores a los 80 mm por mes y temperatura alrededor de 28°C. En las zonas de producción de cacao en la región Amazónica la precipitación no es limitante porque llueve casi todo el año, pero la temperatura en sistemas agroforestales puede ser una variable clave ya que bajo el dosel esta puede ser menor a la temperatura ambiente. Por otro lado, una mayor densidad de árboles de cacao hace que haya una mayor cantidad de flores que atraen a los insectos polinizadores (Kaufmann, 1975).

Los resultados encontrados en estudios muestran que existe una relación positiva entre el porcentaje de humedad de la hojarasca del suelo y la abundancia de polinizadores. Indicando que a medida que aumenta la humedad de la hojarasca, aumenta también la abundancia de polinizadores. Esto se debe principalmente a que estos insectos polinizadores requieren de un hábitat húmedo

para reproducirse y alimentar a sus larvas y huevos (Kaufmann, 1975; Azhar y Wahi, 1984), en donde un montón de hojarasca con suficiente humedad les proporciona las condiciones adecuadas para realizar esta actividad. Estudios realizados por Winder también encontraron relación positiva entre la humedad del suelo y la abundancia de polinizadores. Encontrando que las mayores poblaciones de insectos polinizadores de la familia Ceratopogonidae estaban correlacionadas con mayor humedad del suelo y las menores poblaciones con la menor humedad del suelo (Winder, 1977).

La presencia de hojarasca y materia vegetal en descomposición presentan una relación positiva con la abundancia de Ceratopogónidos, por lo tanto, una cobertura de este tipo en el suelo de una plantación de cacao sirve de hábitat para la reproducción de insectos polinizadores (INIAP, 1993).

Los Ceratopogónidos ocupan varios tipos de hábitats; algunas especies eligen ambientes soleados, otras viven solo en hábitats oscuros y fríos, mientras hay otras especies con hábitos intermedios. Los grupos que prefieren lugares iluminados rara vez o nunca visitan las flores del cacao; aquellos con hábitos intermedios son polinizadores ocasionales, pero las especies que prefieren sombra son aquellos que buscan refugio y forman poblaciones permanentes en las plantaciones donde encuentran todos sus requerimientos ecológicos (Kaufmann, 1987).

## 5. CONCLUSIONES

La diversidad de la entomofauna relacionada con la flor del cacao está compuesta por al menos 5 especies de hormigas, 3 especies de Tripsidos, 2 especies de Afidos, 2 especies de Avispas y cerca de 27 especies de Dípteros; en los registros y colecciones disponibles se reportaron casi 24 especies de Dípteros del género *Forcipomyia*.

La diversidad de los insectos que frecuentan las flores del cacao está relacionada con la presencia de nectarios y polen. Estos recursos, atraen mayoritariamente a insectos pequeños, particularmente de individuos del género *Forcipomyia* los cuales también tienen una relación directa con el número de flores que llegan a ser fecundadas.

Al analizar la información recopilada sobre la diversidad de la entomofauna presente en las flores del cacao y su relación con las diferentes variables ambientales se concluye que los sistemas agroforestales favorecen la presencia de un mayor número de especies; sin embargo, el número de flores y la humedad del entorno son variables clave que inciden en la abundancia de los insectos especialmente de polinizadores.

La familia Ceratopogónidae es el grupo más diverso y abundante y, se ha comprobado que al menos tres géneros están relacionados directamente con el número de flores fecundadas; por lo tanto, es el grupo de insectos polinizadores más importante para el árbol del cacao.

A pesar que el género *Forcipomyia* es catalogado como el principal polinizador del cacao los estudios encontrados únicamente se limitan a describir aspectos

relacionados con su abundancia y efectividad como polinizadores; por lo tanto, todavía falta determinar la dinámica específica de este mecanismo, las relaciones ecológicas existentes y la diversidad de especies en diferentes áreas de producción.

El análisis de la diversidad y abundancia de los insectos asociados a la flor de cacao es un aspecto fundamental que debe ser más conocido y estudiado con la finalidad de entender los mecanismos de polinización y favorecer a las poblaciones de polinizadores con buenas prácticas agroecológicas.

## 6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios más específicos sobre la ecología relacionada con la polinización del cacao para comprender los procesos de coevolución entre el cacao y sus polinizadores; algunos temas de particular interés están relacionados con la dependencia energética, dinámica de poblaciones, adaptaciones específicas y diversidad.

Estudiar la relación entre el cacao y los insectos polinizadores permitirá avanzar en el conocimiento del funcionamiento de estos sistemas agroforestales como tal; además esta información será de gran utilidad para crear nuevas bases para el manejo apropiado de estos agro-ecosistemas y el desarrollo de buenas prácticas de manejo. En este contexto, es importante complementar las investigaciones con estudios de taxonomía y ecología.

Considerando que los estudios encontrados se han enfocado mayormente en el análisis de la abundancia de Ceratopogónidos, dejando de lado otras especies que también están relacionadas con la flor del cacao, es necesario realizar estudios más profundos sobre ecología floral y fenología para conocer las relaciones ecológicas que se producen en las flores del cacao y las especies que intervienen en las diferentes zonas de producción en Ecuador.

Como parte de los programas de asistencia técnica a productores, es importante promover buenas prácticas de manejo ajustadas a sistemas agroforestales; un aspecto importante es facilitar la presencia y el desarrollo de poblaciones saludables de polinizadores para favorecer la producción sostenible de cacao.

Se recomienda mantener intacta la cobertura de materia orgánica y hojarasca en los cacaotales además de conservar los árboles de sombra. Estas prácticas agrícolas ayudan a mantener poblaciones importantes de insectos del género *Forcipomyia* ya que ellos insectos habitan y se reproducen en estos sustratos.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

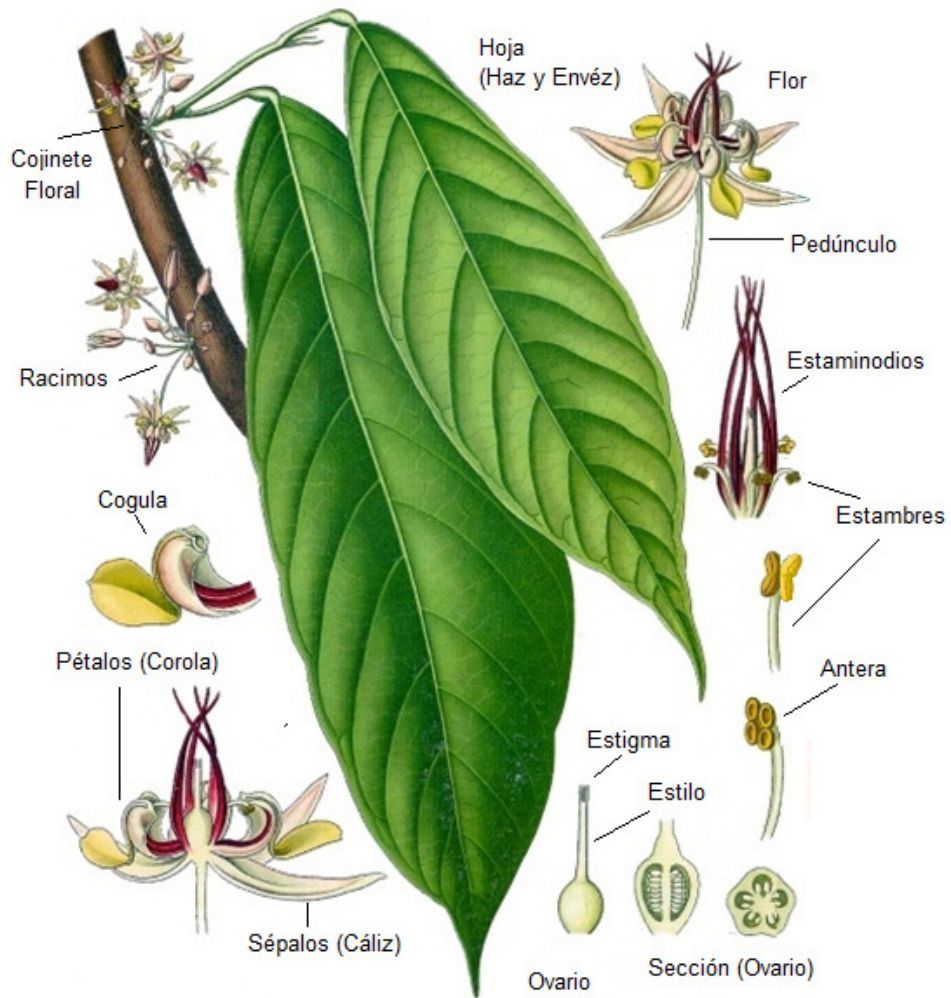
- Abrol, D. P. **Pollination Biology: Biodiversity Conservation and Agricultural Production**. New York: Springer Science & Business Media, 2011.
- Adjaloo, M., & Oduro, W. Insect assemblage and the pollination System of cocoa (*Theobroma cacao* L). **Journal of applied Bioscience**, 4582-4594, 2013.
- Azhar, I., Wahi, M. Pollination of cocoa in Malaysia: identification of taxonomic composition and breeding sites, ecology and pollinating activities, and seasonal abundance. **The Incorporated Society of Planters**. p. 77-89, 1984.
- Baker, H.G., Baker, I. Ant and Flowers. **Biotropica**, 10(1) 80, 1978.
- Beer, R., Mushler, R., & Somarriba, E. Shade management in coffee and cocoa plantations . **Agroforestry Systems**, 139 – 164, 1998.
- Bentley, B. The protective function of ants visiting the extrafloral nectaries of *Bixa orellana* (Bixaceae). **Journal of Ecology**, 27-28, 1977.
- Borkent, A., & Spinelli, G. Neotropical Ceratopogonidae (Diptera: Insecta). **Aquatic Biodiversity in Latin America**: 130-147, 2007.
- Bos, M. S. Shade tree management affects fruit abortion, insect pests and pathogens of cacao. **Agriculture Ecosystems and Environment**, 201-205, 2007.
- Buchmann, N. Services Provided by Pollinators, Chapter 8, G. Daily (ed.),. **Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems**, 133-150, 1996.
- Campbell, N., & Reece, J. **Biología**. Madrid: Médica Panamericana S.A., 2007. 235p
- Cheeseman, E. The economic botany of cacao. **Tropical Agriculture Sup.**, v. 9, 10-16, 1930.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). *Theobroma cacao*, **CONABIO**, Mexico. 253-258, 2010.
- Committee on the status of pollinators in North America. **Status of pollinators in North America**. Washington: The National Academies Press, 2007.
- Córdoba, C., Cerda, R., Deheuvels, O., Hidalgo, E., & Declerck, F. Polinizadores, Polinización y Producción Potencial de Cacao en Sistemas Agroforestales de Bocas del Toro, Panamá. **Agroforestería en las Américas** N° 49, 26-32, 2013.
- Curtis, H., & Schnek, A. Curtis. **Biología**. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana, 2008. 240p

- De la Cruz, J., & Soria, S. Estudio de Fluctuaciones de Polinización de Cacao por las Mosquitas Forcipoyia spp. (Diptera, Ceratopogonidae), en Palmira, Valle, Colombia. **Acta Agronómica**. 23, 1-17, 1973.
- Enríquez, G. A. **Curso sobre el Cultivo de Cacao**. Turrialba: Bib. Orton IICA / CATIE, 1985.
- Entwistle, P. Pests of Cacao. London: **Logman first edition**, 103, 1972.
- Estación Experimental Central de la Amazonía. Análisis de la cadena de cacao y perspectivas de los mercados para la Amazonía Norte. **INIAP**. 153, 11-13, 2009.
- Fajardo M., Zavaleta H., Córdova L., López A., Delgado A., Vidales I., & Villegas A. Anatomía e histoquímica de la semilla del cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo mexicano. **Fitotec. Mex.** Vol. 35 (3): 189-197, 2012.
- Feinsinger, P., & Swarm, L. How common are ant-repelent nectars? **Biotrópica**, 239, 1978.
- Goitia, W., Bosque, C., & Jaffe, K. Interacciones Hormigas-Polinizador en Cacao. **Turrialba**, 42: 178-186, 1992.
- Gots, S., & Harvey, C. Biodiversity conservation in cocoa production landscapes: an overview. **Biodiversity and Conservation**. Ed Springer Vol 16 (8), 2007.
- Harland, S. The method of pollination. **Studies in cacao**, 61-69, 1924.
- IICA/CATIE. **Informe Técnico 1964**. Turrialba: ORTON. IICA / CATIE, 1964
- INIAP. **Manual del Cultivo de Cacao**. Quito: Sección de Comunicación del INIAP, 1993.
- Jaffe, K., Tablante, A., & Sánchez, P. Ecología de Formicidae en plantaciones de *Theobroma cacao*. **Revista Theobroma**, 189-197, 1986.
- Jaimez, R., Tezara, W., Coronel, I., & Ulrich, R. Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agro forestal. **Revista Forestal Venezolana**, 253 – 258, 2008.
- Janzen, D. Why don't ants visit flowers? **Biotrópica**, 1977
- Kaufmann, T. Ecology and behavior of cocoa pollinating Ceratopogonidae in Ghana, W. Africa. **Environmental Entomology**, 347-351, 1975
- Kaufmann, T. Effects of insect pollinators on fruit set of cocoa flowers. **International Cocoa Research Conference**, 303-306, 1987.
- Kearns, C., Inouye, D., & Waser, N. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator Interactions. **Annual review of Ecology and Systematics**, 29: 83-112, 1998.
- Kohler, F. **Wikimedia Commons, the free media repository**. Obtenido de [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theobroma\\_cacao\\_-\\_K%C3%B6hler%20%80%93s\\_Medizinal-Pflanzen-136.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theobroma_cacao_-_K%C3%B6hler%20%80%93s_Medizinal-Pflanzen-136.jpg)

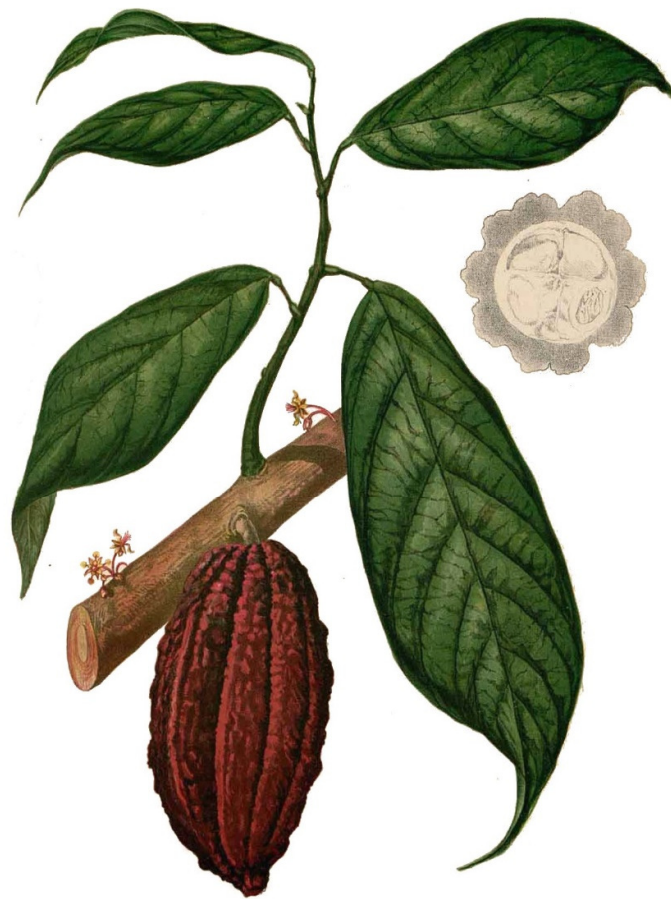
- Leston, D. Entomology of the cocoa farm. **Annual Review of Entomology**, 311-314, 1970
- MARS, USDA-ARS, IBM, NCGR, Clemson University, HudsonAlpha Institute for Biotechnology, Indiana University and Washington State University. Consultad el 15 de Enero de 2015. **Cacao Genome Database**. Obtenido de [www.cacaogenomedb.org](http://www.cacaogenomedb.org)
- Narváez, Z., & Marín, C. Abundance of ceratopogonids (Diptera) in a cacao plantation (*Theobroma cacao*), at Chuao, Edo. Aragua, Venezuela. **Agrotropica 8**, 15-22, 1996.
- Pesantes, D. Información sobre polinización de algunos arbustos y árboles de importancia agrícola y apícola. **Universidad de Puerto Rico**, 11-14, 2011.
- Price, P. **Insect Ecology**. Arizona: John Wiley & Sons, 1997.
- Ramos, R. Estudio de la Diversidad de Insectos Polinizadores en Sistemas Agroforestales de Cacao y su Relación con la Productividad y Diversidad de Especies de Dosel. San Pedro de Sula: **Universidad de San Pedro de Sula**, 2011.
- Raven, P., Evert, R., & Eichhorn, S. Biología de las Plantas, Volume 2. Barcelona, **Reverte**, 392, 2004.
- Richards, A. Plant Breeding Systems. London: **Paston Press**, 1986.
- Ríos, F., Gavilanes, M., Melo, C., & Acosta, N. **Diagnostico biológico de plantaciones de cacao**. Quito, 1997.
- Ríos, F. El Origen y Uso Temprano del Cacao. Quito: **Programa ACDI VOCA LBD**, 2011.
- Ríos, F. **Estrategia para la Promoción de Exportaciones de Cacao Ecuatoriano**. Quito: PROECUADOR, CORPEI, 2013.
- Sánchez, P., Morillo, F., & Muñoz, W. Las especies de *Forcipomyia*, Meigen (Diptera: Ceratopogonidae) polinizadoras del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Colección de la Estación Experimental del INIA-Miranda, Venezuela. **Entomotropica**, 147-148, 2001.
- Soetardi, R. The importance of insects for the pollination of *Theobroma cacao* L. . Indonesia: **Archives of Cocoa Research**, 1950.
- Soria, S. Studies on *Forcipomyia* spp. Midges (Dipteral, Ceratopogonidae) related to the pollination of *Theobroma cacao* L. Wisconsin: Thesis Ph.D. **University of Wisconsin**, 1970.
- Soria, S. **Las relaciones de variables climáticas y bióticas con la dinámica de poblaciones de *Forcipomyia* spp.** (Diptera, Ceratopogonidae) y la polinización del cacaotero en Bahía, Brasil. 425, 1977.

- Soria, S., Wirth, W., & Chapman, K. Insect pollination of cacao in Costa Rica. Preliminary list of the ceratopogonid midges collected from flowers. **Revista Theobroma**, 61-68, 1980.
- Stejskal, M. Nectar and aroma of the cacao flower. **Oriente Agropecuario**, 1(2): 7592., 75 – 92, 1969.
- Summer, H. Cocoa Pollination. New York: **Oxford University Press**, 1962.
- Taylor, B. The ant mosaic on cocoa and other tree crops in Western Nigeria. **Ecological Entomology**, 245-255, 1977.
- Theobroma cacao**. Disponible en:  
<http://www.juliemcenerny.com.au/svmanager/g15/images/Theobroma%20cacao%20web.jpg> [fecha de consulta: 20 de marzo de 2015].
- Valdéz, F. Primeras Sociedades de la Alta Amazonía. Quito: **Institut de Recherche pour le Développement – IRD**, 2013
- Winder, J. Recent research on insect pollination of cocoa. **Cocoa Growers Bulletin**, 26: 11-19, 1977.
- Young, A. Effects of shade cover and availability of midge breeding sites on pollinating midge population and fruit set in two cocoa farms. **Journal of Applied Ecology**, 47-63, 1982.
- Young, A. 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**: 20, 801-828, 1983.
- Young, A. Habitat differences in Cocoa tree flowering, fruit set, and pollinator availability in Costa Rica. **Journal of Tropical Ecology**, 163-186, 1986.

## 8. FIGURAS



**Figura 1. Estructura floral de *Theobroma cacao* y descripción de su partes (Kohler, 1897).**



THEOBROMA CACAO.—LINN.—Blanco.—DC.

**Figura 2. Detalle del tronco, fruto, flor y hojas de *Theobroma cacao*.**  
<http://www.juliemcenery.com.au/svmanager/g15/images/Theobroma%20cacao%20web.jpg>

## 9. TABLAS

**Tabla 1.** Especies de insectos registradas en flores de cacao (Soria *et al.*, 1980).

<b>Especies</b>	<b>Número de especímenes</b>
<i>Forcipomyia blantoni</i>	241
<i>Forcipomyia</i> spp.	27
<i>Dasyhelea</i> spp.	17
Cecidomyiidae	15
<i>Atrichopogon</i> spp.	10
Thysanoptera	10
<i>Forcipomyia nana</i>	8
<i>Forcipomyia</i> spp.	8
<i>Metaforcipomyia</i> spp	2
<i>Culicoides</i> spp	2
Chironomidae	2
<i>Forcipomyia</i> spp.	1
<i>Forcipomyia fuliginosa</i>	1
<i>Forcipomyia stylifera</i>	1
<i>Brachypogon</i> spp.	1
Psychodida sp.	1
Sphaeroceridae sp.	1

En la tabla se puede apreciar que en los registros realizados se determinó una presencia dominante de dípteros del género *Forcipomyia* pues se encontraron 289 de 348 individuos registrados; por otro lado, se registraron un total de 17 especies, de las cuales 8 corresponden al género *Forcipomyia*.

**Tabla 2.** La colección identificada de Ceratopogonidae, polinizadores de cacao, depositada en la Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), en Caucagua, Estado Miranda (Sánchez *et al.*, 2011).

<b>Especies</b>	<b>Estados de colecta</b>
<i>Forcipomyia spatulifera</i>	Amacuro, Miranda, Táchira
<i>Forcipomyia brachyrhynchus</i>	Amacuro, Aragua, Sucre
<i>Forcipomyia quasiingrami</i>	Amacuro, Apure, Miranda.
<i>Forcipomyia genualis</i>	Amacuro, Apure, Aragua, Barinas, Carabobo, Dtto. Federal, Mérida, Miranda, Sucre, Táchira, Yaracuy.
<i>Forcipomyia harpegonata</i>	Amacuro, Apure, Aragua, Carabobo, Miranda, Sucre Táchira, Yaracuy.
<i>Forcipomyia pictoni</i>	Apure, Aragua, Dtto. Federal, Miranda, Táchira, Yaracuy.
<i>Forcipomyia quatei</i>	Apure, Táchira
<i>Forcipomyia cornuta</i>	Apure, Táchira.
<i>Forcipomyia setigera</i>	Aragua, Sucre
<i>Forcipomyia pinamerensis</i>	Aragua, Yaracuy
<i>Forcipomyia luteigenua</i>	Aragua.
<i>Forcipomyia winderi</i>	Aragua, Miranda, Yaracuy
<i>Forcipomyia sp.</i>	Aragua.
<i>Forcipomyia marini</i>	Aragua, Carabobo, Yaracuy. (Holotipo, Alotipo).
<i>Forcipomyia uramaensis</i>	Carabobo (Holotipo).
<i>Forcipomyia longispina</i>	Miranda, Táchira.
<i>Forcipomyia blantoni</i>	Miranda, Sucre.
<i>Forcipomyia seminole</i>	Miranda, Yaracuy.
<i>Forcipomyia squamithorax</i>	Miranda, Yaracuy.
<i>Forcipomyia louriei</i>	Miranda.
<i>Forcipomyia hermosa</i>	Miranda.
<i>Forcipomyia terrestres</i>	Miranda.
<i>Forcipomyia attenuata</i>	Táchira.
<i>Forcipomyia aeria</i>	Táchira.
<i>Monohelea affinis</i>	Miranda.
<i>Atrichopogon sp.</i>	Apure, Miranda, Táchira.
<i>Stilobezzia sp.</i>	Táchira

Nota: Las tres últimas especies no están registradas como polinizadores del cacao, pero están asociadas al bosque cacaotero.

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Diego Frans Ríos Sevilla, CI 1711753747 autor del trabajo de graduación intitulado: “Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de *Theobroma cacao*”, previa a la obtención del grado académico **de LICENCIADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en la Facultad de **Ciencias Exactas y Naturales**:

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 23 de febrero de 2015

Sr. Diego Frans Ríos Sevilla

1711753747