

Informe final de proyecto de investigación

DOCUMENTO 1. Informe Técnico

Estudio de la dinámica de polinizadores del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*): Impactos sobre la productividad y calidad del fruto

Elaborador por

Ing. Randall Chaves Abarca MEdT

Ing. Ricardo Salazar Díaz, MGRN

Diciembre, 2016

Contenido

1	Título:.....	4
2	Autores y direcciones	4
3	Resumen.....	4
4	Palabras clave.....	5
5	Introducción	5
5.1	Aspectos generales de la investigación	5
6	Marco teórico	5
6.1	La polinización como servicio ecosistémico.....	5
6.2	La polinización de cacao y su importancia en el cultivo.....	6
6.3	Insectos polinizadores de cacao	8
6.4	Técnicas de colecta de insectos.....	8
7	Metodología	9
7.1	Descripción de los sistemas de producción.....	9
7.2	Diversidad y abundancia de insectos polinizadores de cacao	9
7.3	Producción de flores y frutos	10
7.4	El impacto del servicio ecosistémico que brinda la diversidad de insectos polinizadores sobre la productividad y la calidad del cacao.....	11
8	Resultados y discusión	15
8.1	Descripción del manejo de los sistemas de producción	15
8.1.1	Manejo intensivo convencional.....	15
8.1.2	Manejo orgánico.....	16
8.1.3	Manejo tradicional.....	17
8.2	Diversidad de insectos polinizadores de cacao	17
8.3	Dinámica poblacional de los polinizadores.....	21
8.4	Producción de frutos y flores	22
8.5	Características de los frutos de cacao cosechados.....	24
8.6	Relación entre la dinámica poblacional de los polinizadores y la cantidad de flores en los sistemas de producción evaluados.....	27
9	Conclusiones y Recomendaciones	29
10	Agradecimientos.....	30
11	Bibliografía	30

Índice de cuadros

Cuadro 1.....	21
Cuadro 2.....	21
Cuadro 3. Conteo de insectos recolectados en la finca convencional (LOLA).....	22
Cuadro 4. Producción de flores en las diferentes fincas.....	22
Cuadro 5. Producción de frutos en las diferentes fincas	23
Cuadro 6. Características físicas de los frutos pertenecientes a los clones de la finca APPTA	25
Cuadro 7.....	25
Cuadro 8.....	25
Cuadro 9. <i>Características físico – químicas de los frutos pertenecientes a los clones de la finca APPTA</i>	26
Cuadro 10. Características físico – químicas de los frutos pertenecientes a los clones de la finca WATSI.....	26
Cuadro 11. Características físicas de la semilla fermentada de los clones de la finca APPTA	27
Cuadro 12. Características físicas de la semilla fermentada de los clones de la finca WATSI	27

Índice de figuras

Figura 1. Estructura general de la flor de cacao.....	7
Figura 2. Aplicación del método de aspirador manual para la captura de insectos en flores.....	10
Figura 3. Forma de los frutos de cacao	12
Figura 4. Forma de los ápices en los frutos de cacao.....	13
Figura 5. Forma de los ápices en los frutos de cacao	13
Figura 6. Rugosidad de la cáscara en los frutos de cacao	14
Figura 7. Promedio de insectos recolectados en la finca WATSI	18
Figura 8. Promedio de insectos recolectados en la finca APPTA	19
Figura 9. Promedio de insectos recolectados en la finca LOLA	20
Figura 10. Especie familia Cecidomyiidae (1) y especie familia Thysanoptera (2).....	20
Figura 11. Especie familia Sciaridae (1) y especie la familia Ceratopogonidae (2)	21
Figura 12. Cantidad de flores presentes en las diferentes fincas estudiadas.	23
Figura 13. Cantidad de frutos presentes en las diferentes fincas estudiadas.	24
Figura 14. Media de insectos muestreados.....	28
Figura 15. Media de flores contabilizadas.....	28

1 Título:

**Estudio de la dinámica de polinizadores del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*):
Impactos sobre la productividad y calidad del fruto**

2 Autores y direcciones

- Ing. Randall Chaves Abarca M.Ed -coordinador
 - rchaves@itcr.ac.cr

- Ing. Ricardo Salazar Díaz, MGRN
 - risalazar@itcr.ac.cr

3 Resumen

El presente estudio evalúa sistemas agroecológicos de producción, la dinámica de insectos polinizadores de cacao, y su relación con el manejo del cultivo y la productividad.

El área de estudio estará comprendida en tres diferentes sistemas de producción, (convencional, orgánico y tradicional), ubicados en la provincia de Limón, Costa Rica. Los sistemas productivos se escogieron procurando buscar los contrastes más fuertes posibles en el manejo agronómico de los mismos.

El método de muestreo se realizó utilizando aspiradores manuales. Esta técnica nos permitió, asegurar la captura de insectos directamente dentro de las flores.

Según diferentes investigaciones, en el cacao, la polinización es llevada a cabo casi exclusivamente por micro dípteros de la familia Ceratopogonidae, entre los cuales, ciertas especies del genero Forcipomyia se encuentran altamente especializadas para polinizar las flores del cacao debido a las características específicas de la estructura morfológica del insecto, nuestros resultados no evidenciaron tanta presencia de esta familia, solamente se encontraron dos especímenes en el sistema de manejo orgánico. A diferencia de especies de la familia Thysanoptera que fueron los insectos que se encontraron en mayor cantidad en cada una de los tres sistemas de producción. Especies de la familia Cecidoniidae y Sciaridae también fueron encontradas en los tres sistemas de producción.

El sistema de producción tradicional fue el que registró mayor cantidad de insectos capturados, también registró mayor cantidad de flores y mayor cantidad de frutos

contabilizados. El sistema de producción orgánica fue la que registró menor cantidad de insectos, flores y frutos.

4 Palabras clave

Dinámica poblacional, polinizadores, cacao, productividad, calidad.

5 Introducción

5.1 Aspectos generales de la investigación

La polinización por animales representa un servicio crítico para los ecosistemas, tanto desde el punto de vista biológico como económico. El rendimiento de las plantaciones de cacao en Centroamérica es bajo, alrededor de 250 kg. ha/año, en algunas zonas de Costa Rica como en Talamanca se produce menos de 100 kg. ha/año. Según Young (1982). Un factor que interviene en la producción de frutos, es la reducción de las poblaciones de insectos polinizadores y sus ecosistemas.

Actualmente se desconoce cuál es el estado de la abundancia y riqueza de las poblaciones de insectos polinizadores del cacao en relación al manejo que se le da a la plantación en Costa Rica. El desconocimiento del estado real de las poblaciones y los requerimientos ecológicos de estos insectos puede ser riesgoso en tanto que se pueden estar incurriendo en medidas y prácticas que desfavorezcan las poblaciones de estos importantes animales en los sistemas de cultivo del cacao.

El proyecto evalúa el impacto de la dinámica y abundancia de insectos polinizadores de cacao sobre los sistemas productivos de cacao de la región de Talamanca.

Los resultados de esta investigación permitirán obtener información importante para técnicos y productores, sobre la relación entre el manejo del cultivo, la dinámica poblacional de los polinizadores del cultivo para el mejoramiento de la productividad.

6 Marco teórico

6.1 La polinización como servicio ecosistémico

Los efectos de las reducciones en la abundancia y diversidad de los polinizadores han recibido mucha atención en los últimos años, ya que los polinizadores brindan un servicio crítico para los ecosistemas, tanto naturales como agrícolas (Chacoff & Aizen, 2006), desde el punto de vista biológico y económico (Kearns, Inouye, & Waser, 1998). Cerca del 90% de las 300.000 especies de angiospermas son polinizadas por animales (Richards, 1986) siendo insectos el 90% de los polinizadores (Ingram, Nabhan, & Buchmann, 1996).

Este tipo de polinización también ha sido reconocida como un proceso fundamental para la obtención de producciones rentables en varios cultivos de importancia agrícola. La polinización de los cultivos representa un servicio de los ecosistemas naturales de un gran valor económico (Costanza et al., 2016; Ricketts, Daily, Ehrlich, & Michener, 2004; Roubik, 2002)

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

6.2 La polinización de cacao y su importancia en el cultivo

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

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

Las flores de cacao son producidas en agrupaciones directamente de la madera vieja del tallo principal o de las ramas viejas en los puntos donde originalmente fueron hojas axilares. Cada

flor tiene 5 pétalos cerrados dentro de cinco sépalos más largos, los cuales son su parte más sobresaliente. Los pétalos tienen dos prominentes líneas guía purpuras. El ovario superior contiene cinco carpelos, cada uno con numerosos óvulos que desarrollan dentro las semillas de comercio. El único estilo se divide en 5 estigmas, este es rodeado por un círculo interior de cinco estambres, cada uno con cuatro anteras y un círculo de 5 estaminodios, los cuales están unidos en la base. Los filamentos de los estambres curvan hacia el exterior así que las anteras se echan dentro de las bolsas de los pétalos y los estaminodios erectos forman una barrera alrededor del estilo (Bystrak & Wirth, 1978). La estructura general de una flor de cacao se presenta en la figura 1:

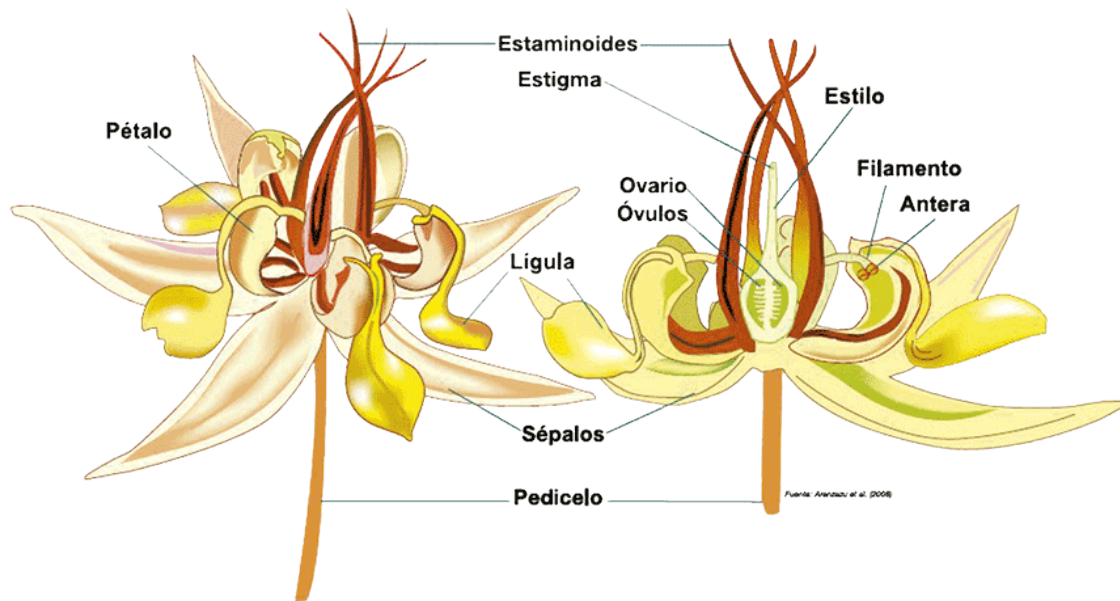


Figura 1. Estructura general de la flor de cacao

Fuente: <http://cacaomovil.com/guia/3/contenido/formas-de-propagacion/>(2015)

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

La usencia de insectos polinizadores en algunas aéreas de cacao tales como Costa Rica (Winder, 1978), Costa Pacífica de Ecuador, algunas aéreas del Valle del Cauca en Colombia (Soria) han resultado en una carencia de polinización natural (Brew, 1985). El proceso lógico en el cultivo del cacao donde los bajos niveles de polinización plantean un problema es buscar mejorar los métodos culturales necesarios para el mantenimiento de altas poblaciones de polinizadores (Brew, 1988).

6.3 Insectos polinizadores de cacao

Estudios en varias regiones productoras de cacao alrededor del mundo han demostrado que los polinizadores del cacao pertenecen principalmente al orden Díptera, siendo la familia *Ceratopogonidae* (géneros *Forcipomyia*, *Dasyhelea* y *Atrichopogon*) y la familia *Cecidomyiidae* de mayor importancia en regiones como Malaysia y Costa Rica (Young, 1986). Y aunque el número total de insectos que participan en la polinización del cacao aún no está precisado, los ceratopogónidos del genero *Forcipomyia* parecen ser importantes en la mayoría de áreas estudiadas (Brew, 1985; Elizondo, 1988).

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

6.4 Técnicas de colecta de insectos

La colecta de insectos requiere aplicar una variedad amplia de técnicas debido al gran número de especies y variedad de hábitos de vida que presentan. Dichas técnicas pueden ser divididas de manera muy general en técnicas de colecta directa (activas) o técnicas de colecta indirectas (pasivas) (Luna, 2005).

La técnica de colección directa es aquella en la que el colector busca de manera activa a los organismos en su ambiente, en los sitios donde éstos se distribuyen, como plantas, hojarasca, suelo, musgo, hongos, nidos, entre otros. Esta estrategia es utilizada ampliamente por la mayoría de los colectores, quienes se apoyan de herramientas e instrumentos que varían según el sustrato o sitio de búsqueda. Implica poseer cierta información biológica sobre los grupos que se desea coleccionar, principalmente su distribución geográfica, ocurrencia estacional y hábitos alimenticios (Luna, 2005).

Las plantas a su vez pueden estar habitadas, y ser consumidas, en cada una de sus partes por organismos que se especializan en raíz, tallo, hojas, flores, frutos y semillas. Además, los

diferentes recursos en la naturaleza presentan una sucesión en la fauna de insectos que los consumen. La colecta indirecta, básicamente se refiere a la utilización de trampas con o sin atrayentes, trampas de luz o técnicas combinadas como el embudo de Berlese (Luna, 2005).

7 Metodología

7.1 Descripción de los sistemas de producción

El proyecto se llevó a cabo en tres fincas ubicadas en la provincia de Limón. Dos de ellas en el cantón de Talamanca (Watsi y Bratsi) y la otra en 28 millas en el cantón de Matina. Los sistemas de cultivo del cacao se escogieron procurando buscar variedad entre un sitio de muestreo y el otro. No se buscó representatividad sino más bien los contrastes más fuertes posible entre el manejo agronómico en los sistemas productivos. Se realizó un muestreo aleatorio simple asegurándose de que todos los árboles de cacao dentro de las parcelas fueran incluidos y luego se seleccionó al azar el número de árboles a muestrear.

Los tres sistemas seleccionados de producción del cultivo de cacao fueron:

- 1- Manejo intensivo convencional
- 2- Manejo orgánico
- 3- Manejo tradicional (mínimo manejo).

Considerando homologar variables en el diseño del experimento, las plantaciones seleccionada, tienen la misma edad y se muestrearon árboles que son genéticamente idénticos (clones) en las tres fincas.

7.2 Diversidad y abundancia de insectos polinizadores de cacao

Debe aclararse que previo al arranque del proyecto, entre los meses de agosto y octubre del 2013, el Ing. Ricardo Salazar Díaz, participó en una capacitación técnica realizada en Puerto Rico en el Centro de Investigación de Agricultura Tropical del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, como parte de la integración en el programa internacional Borlaug Fellowship Program. Dentro de los objetivos de la capacitación se trabajó mano a mano con el Doctor David Jekins, especialista en el tema de monitorio de insectos; sobre el protocolo de la investigación, la metodología a aplicar y el entrenamiento para la identificación y clasificación de los insectos polinizadores de cacao.

Según recomendaciones de dicha capacitación para el proceso de muestreo de insectos dentro de cada cacaotal, se probaron las dos técnicas generales de colección. En el caso de técnicas indirectas se colocaron trampas con atrayentes, sin embargo, al comparar resultados versus

la colecta directa, se optó por realizarla de esta forma, mediante el uso de aspiradores manuales.

Propiamente para la colecta directa, se aspiraron 200 flores por finca en cada uno de los muestreos. Esta técnica permitió, asegurarse la capturar de insectos directamente desde las flores. En total se realizaron tres muestreos en cada finca durante la época de floración (entre los meses de abril y agosto). La hora en las cuales se realizaron los muestreos fue entre las 7:00 am y 9:00 am. Según Frimpong et al., (2009), el pico donde hay mayor actividad de los polinizadores de cacao es entre 7:00 am y 12:00 md. Los insectos capturados se conservaron en etanol al 70% para luego ser trasladados al laboratorio de la Escuela de Agronegocios del Tecnológico de Costa Rica, para su respectivo conteo e identificación.

Es importante indicar que adicionalmente, se llevaron insectos al INBIO para obtener apoyo en la identificación de las especies, básicamente se trató de una etapa previa de recolección y reconocimiento para luego depurar la colecta de insectos y su identificación en la Escuela de Agronegocios.



Figura 2. Aplicación del método de aspirador manual para la captura de insectos en flores

7.3 Producción de flores y frutos

En cada una de las tres fincas, se identificaron y marcaron seis árboles, dos de cada uno de los tres clones seleccionados (PMCT-58, CATIE-R1, CATIE-R4). Entre los meses de enero

y mayo del 2014 se realizaron cinco conteos de flores y frutos en cada uno de los árboles seleccionados, con el fin de comparar la cantidad mazorcas sanas producidas en cada una de las fincas y además relacionar la cantidad de polinizadores con la cantidad de flores, partiendo de la hipótesis que entre más flores hay más polinizadores.

7.4 El impacto del servicio ecosistémico que brinda la diversidad de insectos polinizadores sobre la productividad y la calidad del cacao

Para realizar las pruebas de producción y calidad del fruto. En cada una de las fincas, se identificaron árboles de cacao de los mismos clones (PMCT -58 CATIE - R1 CATIE-R4). La producción se midió justo antes de uno de los períodos de picos de producción (entre abril y junio). En cada una de las unidades muestreadas se contaron los frutos sanos.

Se muestrearon frutos maduros para realizar las pruebas de calidad respectiva. Entre ellas pueden citarse: tamaño de la mazorca (largo y diámetro), peso de la mazorca, tamaño de la almendra (largo, diámetro), cantidad de almendras por mazorca, peso húmedo, peso seco.

Es importante mencionar que con respecto a la caracterización física de las mazorcas, se utilizó de referencia el Catálogo de Clones del CATIE de Phillips, et al, (2012), en el cual, entre otros aspectos define formas del fruto, forma de los ápices, forma de la constricción basal y rugosidad de la cáscara, sobre los cuales se muestran las siguientes figuras.

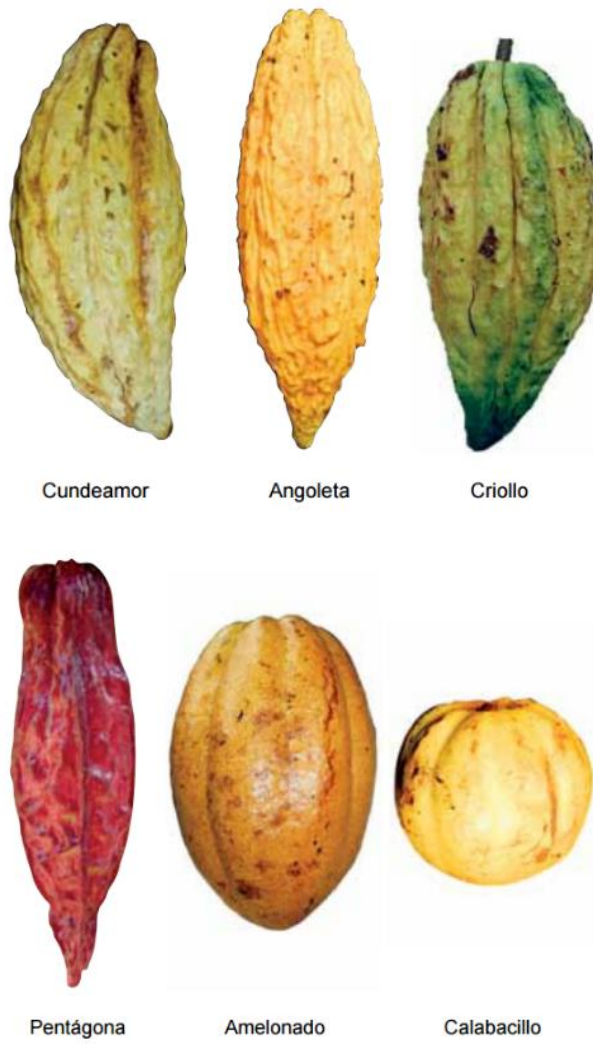


Figura 3. Forma de los frutos de cacao
Fuente: Phillips, et al, 2012

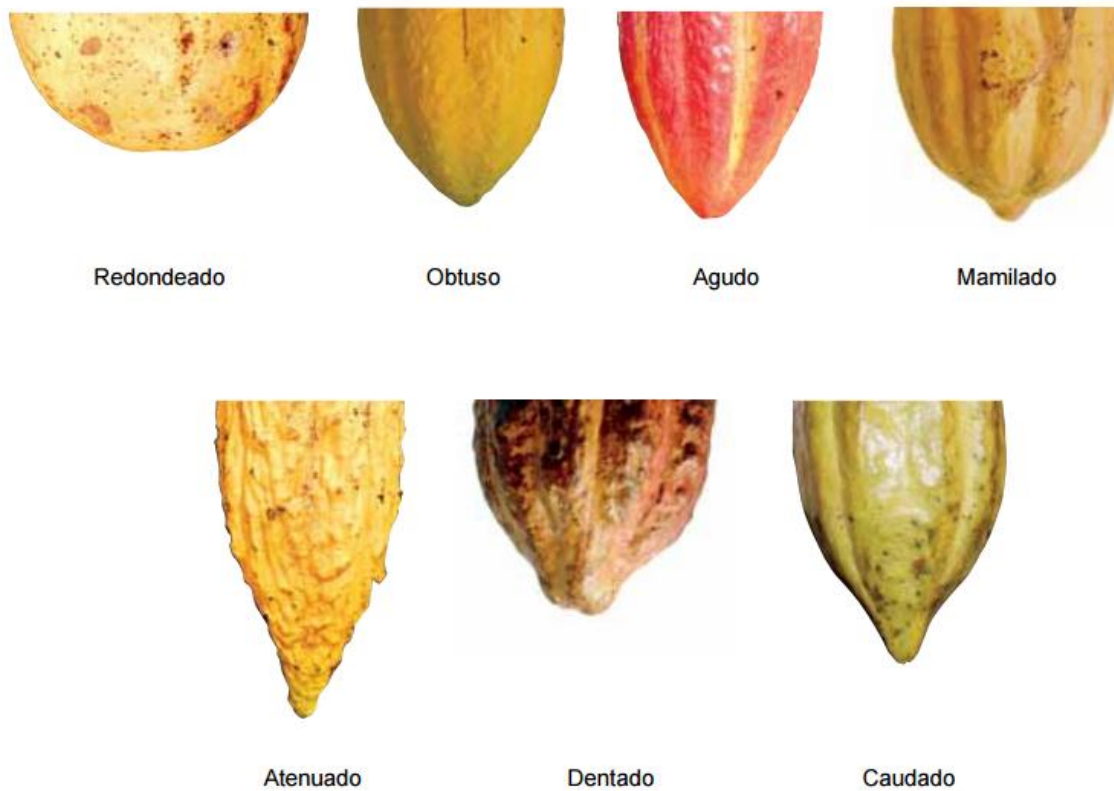


Figura 4. Forma de los ápices en los frutos de cacao
Fuente: Phillips, et al, 2012

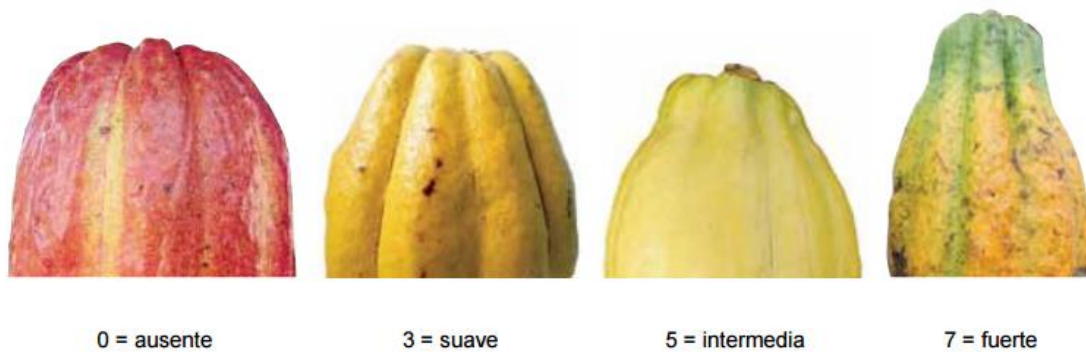


Figura 5. Forma de los ápices en los frutos de cacao
Fuente: Phillips, et al, 2012



0 = ausente



3 = suave



5 = intermedia



7 = áspera

Figura 6. Rugosidad de la cáscara en los frutos de cacao
Fuente: Phillips, et al, 2012

Además, se aplicaron análisis de azúcares, humedad (estrechamente relacionado con el peso húmedo y peso seco), en el laboratorio de la Escuela de Agronegocios, del Tecnológico de Costa Rica.

8 Resultados y discusión

8.1 Descripción del manejo de los sistemas de producción

En el diagnóstico agroforestal presentado por Somarriba y otros (2003) se menciona que en la región de Talamanca, los sistemas agroforestales están principalmente conformados por cacao, banano, maderables como *Cordia alliodora* (Laurel) y *Cedrella odorata* (cedro amargo) y frutales como *Inga spp.* (Guaba) y cítricos (*Citrus spp.*).

El cacao es una planta perenne de hasta 20 metros de altura, su raíz es pivotante y puede llegar a medir 2 metros de profundidad, sus hojas son simples y pueden ser de color verde, marrón, morado o rojizo. Su flor es hermafrodita con polinización entomófila (Wood, 2001) y nacen en troncos y ramas principales donde anteriormente se encontraban hojas (Navarro & Mendoza, 2006).

La tasa de fecundación es bastante baja ya que solamente se fecundan de un 3% a un 5%. (Dubón & Sánchez, 2011). Sus frutos desde el punto de vista botánico son bayas (Romero, 2014) con semillas que van de 30 a 40 unidades por fruto, los cuales tardan de 5 a 6 meses en alcanzar su madurez desde su polinización (Wood, 2001).

8.1.1 Manejo intensivo convencional

Es difícil encontrar una finca donde el manejo agronómico sea intensivo, dado que generalmente en esta zona el cacao se cultiva en sistemas diversificados y desde el punto de vista agroecológico, estos sistemas de producción favorecen un manejo agronómico con poco uso de insumos externos.

Sin embargo, se consideró una hectárea de la Finca la Lola bajo esta modalidad, debido a que el manejo que se le da a la plantación, es lo más cercano a un manejo intensivo. Se realizan cuatro aplicaciones de 150 gramos de fertilizante químico (18-5-15 fórmula cafetalera) por árbol, se aplica herbicidas a una dosis de 1500 cc por bomba de espalda una o dos veces por año y se aplica biofertilizantes una vez al mes en época de floración. Con respecto a las podas, después de la poda de formación que se realizó a los dos meses de edad del árbol, se realizan dos podas de mantenimiento al año.

La Finca la Lola es propiedad del CATIE. Se ubica en 28 millas de Bataán, Cantón de Matina, Provincia de Limón, en la costa atlántica de Costa Rica a 10°06´ longitud oeste y una altitud de 40 msnm. Según las zonas de vida de Holdridge, la zona pertenece al bosque tropical húmedo.

El clima de la región se puede definir como cálido (24,5°C de temperatura promedio anual), muy lluvioso (3.560 mm de promedio anual de precipitación), con una marcada disminución de las lluvias en los meses de marzo y setiembre. Posee humedad relativa alta, bastante nubosidad, con pocas horas de brillo solar, radiación solar media y un exceso de agua la mayor parte del año.

La mayor parte del suelo de la finca (69%) está ocupada por suelo arcilloso-limoso, el 21% por arena gruesa y un 10% por arcillo-arenoso. Por otra parte, la topografía es catalogada como casi plana.

8.1.2 Manejo orgánico

Se consideró la Finca propiedad de la Asociación de Pequeños Productores de Talamanca (APPTA), como una finca con manejo agronómico orgánico, de igual manera bajo un sistema agroforestal de producción diversificada. A diferencia del manejo intensivo convencional, aquí no se utiliza ningún agroquímico, además que los insumos orgánicos que se apliquen deben ser aprobados por la certificación orgánica ya que se cuenta con la misma.

La práctica más frecuente, es la aplicación de biofertilizantes con motobombas una vez al mes, no se aplica abonos directamente al suelo, en cuanto al manejo de la poda, después de la poda de formación a los dos meses de edad de los árboles, se realizan dos podas de mantenimiento al año. Ocasionalmente se aplican insecticidas orgánicos para el control de la chinche del cacao (*Sahlbergella singularis*). El control de arvenses se realiza de forma mecánica (motoguadaña), dos o tres veces al año.

La Finca APPTA con una extensión de tres hectáreas, se encuentra ubicada en el distrito de Bratsi, cantón de Talamanca, Provincia de Limón, en la costa atlántica de Costa Rica 82°49´ longitud Oeste y una altitud de 32 m.s.n.m. Según las zonas de vida de Holdridge, la zona pertenece al bosque tropical húmedo.

El clima de la región se puede definir como cálido, entre 24° y 30° C de temperatura, con una precipitación anual de 2.100 mm al año.), con una marcada disminución de las lluvias en los meses de marzo y abril.

No se tiene información detallada del tipo de suelo de la finca de APPTA, podría decirse que la topografía es catalogada como casi plana y el suelo aparenta ser de tipo arcilloso.

8.1.3 Manejo tradicional

Cuando se dice manejo tradicional, se refiere al manejo habitual que realizan los productores indígenas en Talamanca al cultivo de cacao, que se puede considerar como un mínimo manejo, en el sentido de prácticas culturales. A diferencia del manejo orgánico (que este tipo de manejo también está certificado orgánico) no se aplica ningún insumo a la plantación, ni abonos orgánicos, ni foliares, ni insecticidas orgánicos. Después de la poda de formación a los dos meses de edad, solamente se realiza una poda de mantenimiento al año. El control de arvenses se realiza una vez al año de forma manual (machete).

Se seleccionó la Finca de la indígena Marina López Morales, con una extensión de una hectárea ubicada en Watsi, cantón de Talamanca, Provincia de Limón, en la costa atlántica de Costa Rica.

A la finca de Marina se le realizaron análisis químicos de suelos, y de los resultados puede decirse que el suelo no presenta problemas de acidez. A pesar que el pH se encuentra en el límite de 5,5; el bajo nivel de acidez intercambiable y el alto valor de la suma de bases hacen que el porcentaje de saturación de acidez sea despreciable. Nutricionalmente, este suelo presenta una deficiencia de P que posiblemente esté limitado por el alto contenido de Ca. Por otra parte, la relación C/N (inferior a 20) y el contenido de M.O (superior a 2) indican que es un suelo con muy buena disponibilidad de nitrógeno tal y como lo menciona Rojas (2004).

Igual que las fincas anteriores, la topografía es catalogada como casi plana.

8.2 Diversidad de insectos polinizadores de cacao

Según (Soria, 1973; Kaufmann 1975; Soria, Wirth y Chapman 1980; Brew, 1985) en el cacao, la tarea de la polinización es llevada a cabo casi exclusivamente por microdípteros de la familia Ceratopogonidae, entre los cuales, ciertas especies del genero Forcipomyia se encuentran altamente especializadas para polinizar las flores del cacao debido a las características específicas de la estructura morfológica del insecto.

A continuación, se presentan gráficos que detallan un promedio de la cantidad de insectos presentes en las diferentes fincas, los cuales fueron recolectados por medio de la técnica de aspiración en flores. A diferencia de lo mencionado por los autores citados, especies de la familia Ceratopogonidae fueron los menos encontrados, solamente se encontró un 9% de especímenes de esta Familia en la finca de APPTA, en Watsi y La Lola no se reportó

Forcipomyias. Especímenes de la familia Thysanoptera fueron los más encontrados en Watsi, APPTA y La Lola, con una cantidad promedio de 69%, 40% y 63% respectivamente.

El ítem de “Otros” representan a otras especies encontradas en las flores muestreadas, que hasta el momento no ha reportado funcionalidad en la polinización de cacao, como los son avispas, hormigas, ácaros, arañas y otros insectos.

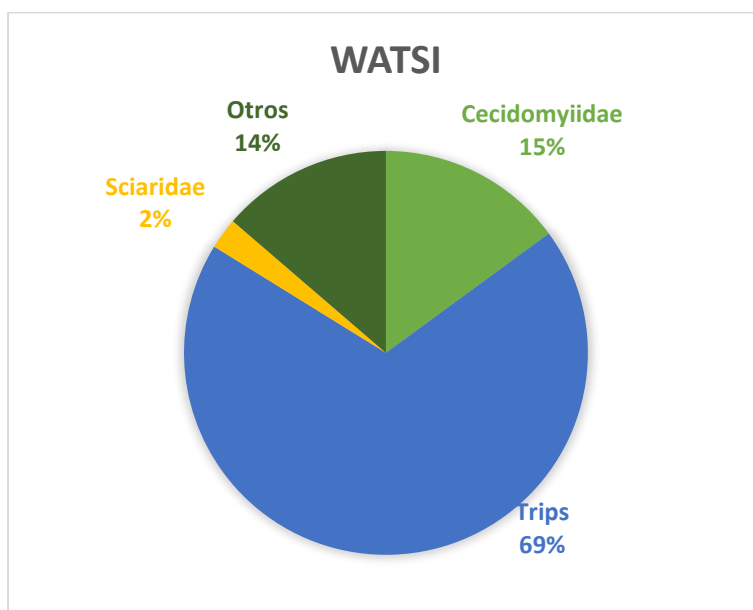


Figura 7. Promedio de insectos recolectados en la finca WATSI.

La figura anterior muestra la dinámica poblacional en la finca con manejo tradicional (WATSI), en el cual se observa que los insectos con mayor presencia (69%), son los llamados Trips, de la familia Thysanoptera, estos suelen ser de color negro o color café como se muestra en la figura 2, seguidos de los pertenecientes a la familia Cecidoniidae (15%) y un porcentaje menor (2%) la familia Sciaridae.

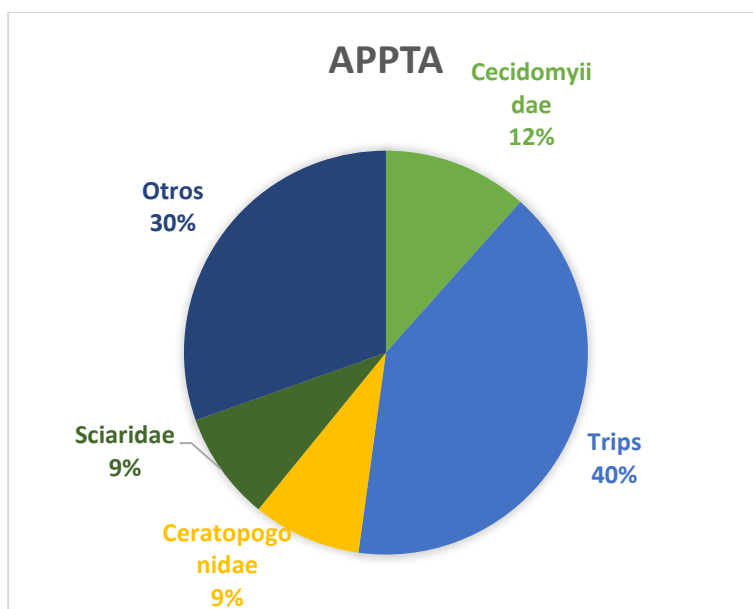


Figura 8. Promedio de insectos recolectados en la finca APPTA

La finca con manejo orgánico (APPTA), por su parte muestra una dinámica poblacional donde se evidencia al igual que en el gráfico 1, una mayor presencia de Trips, seguido por la familia Cecidomyiidae, la cual es una familia de dípteros que por lo general miden aproximadamente 3mm de longitud, y son reconocidos fácilmente por su venación de las alas, mostrando dos venas largas y pronunciadas como se observa en la figura 6, y con un porcentaje muy significativo (9%) se encuentra la familia Sciaridae.

La familia Sciaridae mostró un mayor porcentaje de presencia en esta finca, respecto a las demás fincas, esta familia es un grupo de moscas, su tamaño varía entre 1,0 - 11,0 mm, donde las hembras son más grandes que los machos, su característica principal al momento de reconocerlos es la venación de las alas la cual es bifurcada como se muestra en la figura 8.

Esta finca comparada con las otras dos fincas, mostró una presencia de insectos pertenecientes a la familia Ceratopogonidae, la cual es una familia de pequeñas moscas, que han sido reconocidas en este caso por sus antenas con flagelos, mostrándose plumosas en los machos, como se observa en la figura 9.

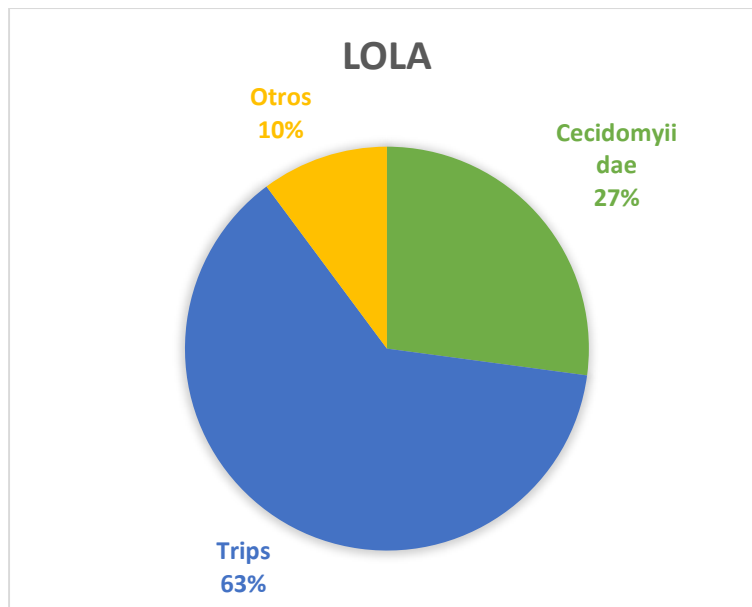


Figura 9. Promedio de insectos recolectados en la finca LOLA

El Figura 9 muestra el comportamiento de la población en la finca con manejo convencional (La Lola), donde se observa al igual que en las fincas anteriores una presencia significativa de la familia Thysanoptera y en un porcentaje menor insectos de la familia Cecidomyiidae, el porcentaje de otros en este caso es mayor en comparación a las otras dos fincas.



Figura 10. Especie familia Cecidomyiidae (1) y especie familia Thysanoptera (2).



Figura 11. Especie familia Sciaridae (1) y especie la familia Ceratopogonidae (2)

8.3 Dinámica poblacional de los polinizadores

Con el fin de analizar la dinámica poblacional en las tres diferentes fincas de estudio, tradicional, convencional, y orgánica, se realizaron tres recolecciones de insectos en diferentes fechas, por medio de la aspiración en flores, donde se evidenció la presencia de diferentes familias como la Cecidomyiidae, Sciaridae, Thysanoptera (Trips), Ceratopogonidae y otros tipos de insectos.

Como se observa en los diferentes cuadros se muestra una alta cantidad de llamados Trips de la familia Thysanoptera, así como la presencia en las cuatro fincas de la familia Cecidomyiidae.

Cuadro 1.

Conteo de insectos recolectados en la finca tradicional (WATSI)

Fecha de recolección	Cantidad de insectos	Familia
26/3/2015	14	Cecidomyiidae
	18	Trips
	1	Sciaridae
	7	Otros
11/6/2015	17	Trips
	3	Cecidomyiidae
7/8/2015	1	Cecidomyiidae
	48	Trips
	4	otros

Cuadro 2.

Conteo de insectos recolectados en la finca orgánica (APPTA)

Fecha de recolección	Cantidad de insectos	Familia
26/3/2015	2	Cecidomyiidae
	7	Trips
	5	Otros
11/6/2015	5	Trips
	1	Cecidomyiidae
	1	Ceratopogonidae
	1	Sciaridae
7/8/2015	1	Ceratopogonidae
	2	Trips
	1	Cecidomyiidae
	2	Otros

Cuadro 3.

Conteo de insectos recolectados en la finca convencional (LOLA)

Fecha de recolección	Cantidad de insectos	Familia
26/3/2015	12	Trips
	1	Cecidomyiidae
	1	Otros
11/6/2015	10	Trips
	9	Cecidomyiidae
7/8/2015	15	Trips
	6	Cecidomyiidae
	3	Otros

8.4 Producción de frutos y flores

Con respecto a la producción de frutos y flores, los siguientes cuadros muestran los conteos realizados en las tres fincas, en diferentes fechas.

Cuadro 4.

Producción de flores en las diferentes fincas.

Fecha de muestreo	Fincas		
	Convencional	Orgánico	Tradicional

13/2/2014	28	34	102
7/3/2014	50	0	37
20/3/2014	28	40	76
7/5/2014	113	113	239
28/5/2014	25	8	28

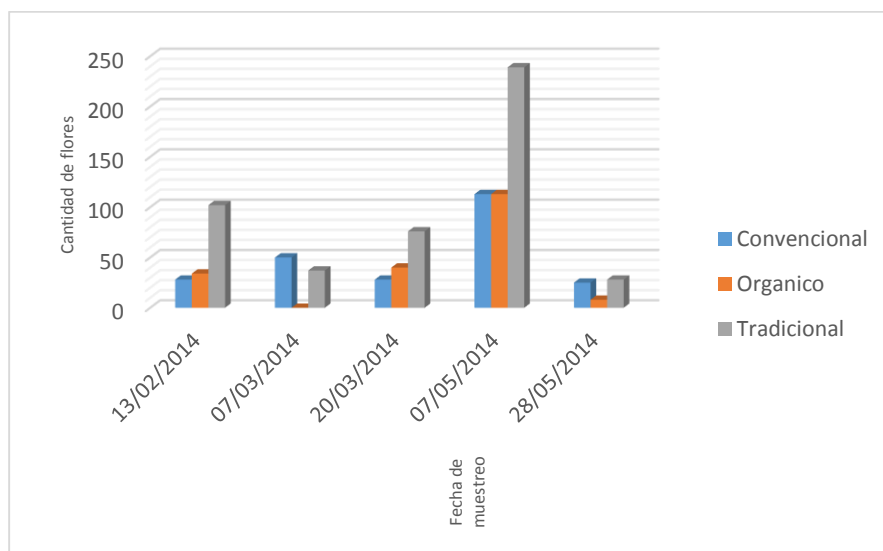


Figura 12. Cantidad de flores presentes en las diferentes fincas estudiadas.

Según los datos obtenidos y como se muestra en el Figura 14, la producción de flores fue mayor en finca con manejo tradicional siendo la mayor cantidad en el mes de mayo, con aproximadamente 239 flores seguido de una producción de 102 flores en el mes de febrero.

En el caso de la finca con manejo orgánico, la mayor producción se dio en el mes de mayo, con una cantidad de 113 flores aproximadamente, al igual que en la finca con manejo convencional, la cual presenta para el mes de marzo una producción de 50 flores aproximadamente, siendo esta la finca que produjo más unidades en el mes de marzo.

Para el mes de mayo en el segundo muestreo, se evidenció una disminución significativa en la producción de flores, comparado con el primer muestreo de este mismo mes donde se contabilizó la mayor cantidad de flores.

Cuadro 5.

Producción de frutos en las diferentes fincas.

Fecha de muestreo	Fincas		
	Convencional	Orgánico	Tradicional
13/2/2014	13	12	72

6/3/2014	48	0	88
20/3/2014	19	108	90
7/5/2014	15	36	125
28/5/2014	8	24	66

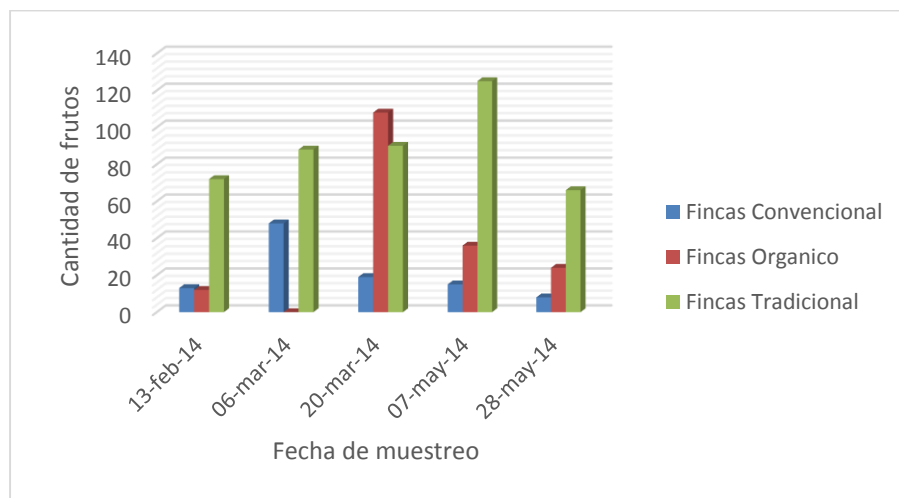


Figura 13. Cantidad de frutos presentes en las diferentes fincas estudiadas.

En la figura 11 se observa que la finca tradicional (Watsi) presenta la mayor producción en cuatro de los cinco muestreos, se observa como la producción en la fincas convencional (La Lola) tiende a disminuir a partir de la segunda fecha de muestreo, y también se observa el pico de producción en la finca orgánica (APPTA) en la tercer fecha de muestreo.

Los frutos contabilizados durante estos muestreos, fueron mazorcas entre verdes y maduras que estuvieran sanas. Cabe mencionar que si bien es cierto, las visitas a las fincas eran coordinadas con los encargados de las mismas, la posibilidad que se cosechara mazorcas durante la fecha de muestreo no estaba bajo el control del equipo de investigadores.

8.5 Características de los frutos de cacao cosechados

Con respecto a la caracterización de los frutos de cacao, es importante mencionar que en el caso de la finca la LoLa, el CATIE como ente de reconocido prestigio en el cultivo y manejo de cacao, ha realizado caracterización de los clones incluidos en esta investigación, ya que todos ellos son parte de los clones seleccionados por esta institución para siembras comerciales, por lo que para esta finca se tomó de referencia los datos aportados en el catálogo.

Para el caso de las otras dos fincas, las características encontradas se muestra en los siguientes cuadros:

Cuadro 6.

Características físicas de los frutos pertenecientes a los clones de la finca APPTA

Clon	Color del fruto	Forma Fruto	Cáscara	Ápice	Forma de la Base	Rugosidad
R4	Amarillo , resto de verde por grado de madurez	Angoleta-Criollo	Dura	Caudado	Intermedia	Suave
R6	Amarillo con poco anaranjado	Amelonado-Angoleta	Dura	Caudado	Intermedia	Suave
PMCT-58	Amarillo, con verde y anaranjado	Amelonado-Angoleta	Dura	Caudado	Suave	Suave

Cuadro 7.

Características físicas de los frutos pertenecientes a los clones de la finca WATSI

Clon	Color del fruto	Forma Fruto	Cáscara	Ápice	Forma de la Base	Rugosidad
R4	Amarillo y verde	Criollo	Dura	Caudado	Intermedia	Suave
R6	Amarillo	Angoleta-criollo	Dura	Caudado	Suave	Suave
PMCT-58	Amarillo-naranja y verde	Amelonado	Dura	Obtuso	Suave	Suave

Los frutos cosechados muestran los colores característicos, percibiéndose variaciones entre mazorcas de los mismos clones debidos al grado de madurez.

Con respecto al tamaño, las muestras recolectadas en la finca de APPTA y en Watsi mostraron un tamaño mayor al reportado en el Catálogo de Clones, dado el promedio de longitud y diámetro. Para tener una referencia, se detalla las características del fruto reportadas en el Catálogo para los tres clones en estudio.

Cuadro 8.

Características físico – químicas de los frutos pertenecientes a los clones referenciados en el Catálogo de Clones del CATIE

Clon	Longitud Promedio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	Peso fresco (g)	Masa semillas	Número de semillas
-------------	-------------------------------	-------------------------------	------------------------	----------------------	---------------------------

R4	18,7 ± 0,25	9,6 ± 0,13	573,7 ± 19,8	144,7 ± 5,70	35 ± 1,30
R6	14,3 ± 0,24	9,5 ± 0,15	566,1 ± 18,4	127,2 ± 4,46	31 ± 1,11
PMCT-58	13,8 ± 0,24	8,8 ± 0,15	441,1 ± 18,50	93,1 ± 4,48	37 ± 1,32

Fuente: Phillips; *etall*, 2012.

Cuadro 9.

Características físico – químicas de los frutos pertenecientes a los clones de la finca APPTA

Clon	Longitud Promedio (± 0,05) cm	Diámetro Promedio (± 0,05) cm	Peso fresco (± 0,01) g	Masa semillas y cáscara (± 0,01) g					°Brix (± 0,05)	pH	% Humedad	
				Cáscara	Masa interna	Semillas con baba	Número de semillas	Con cáscara			Sin cáscara	
R4	19,93	9,25	697	527,5	167,52	151,07	38	13,63	3,66	8,99	7,87	
R6	19,85	9,53	674,5	503,75	169,48	152,69	39	12,77	3,73	9,78	8,13	
PMCT-58	19,00	9,52	726,5	560,9	163,82	147,51	51	17,13	3,45	8,70	7,25	

Cuadro 10.

Características físico – químicas de los frutos pertenecientes a los clones de la finca WATSI

Clon	Longitud Promedio (± 0,05) cm	Diámetro Promedio (± 0,05) cm	Peso fresco (± 0,01) g	Masa semillas y cáscara (± 0,01) g					°Brix (± 0,05)	pH	% Humedad de la semilla	
				Cáscara	Masa interna	Semillas con baba	Número de semillas	con cáscara			sin cáscara	
R4	15,17	9,00	646,5	447,1	196,21	174,71	48	10,87	3,71	8,18	7,26	
R6	20,03	8,95	448	347,4	97,05	88	36	18,67	3,43	7,47	7,19	
PMCT-58	13,70	8,95	480,5	334,73	144,21	119,38	45	18,87	3,18	8,18	7	

Además, se percibe una diferencia en el número y masa de las semillas, siendo más alto en las muestras recolectadas en las Wattsi y APPTA. Con respecto a los grados Brix se tiene que estos reflejan una importante concentración de azúcares, bastante elevada en los PMCT-58 de ambas fincas.

Los siguientes cuadros muestran las características de las semillas luego de realizada la fermentación, denotando la disminución de masa al perder la baba en el proceso. En cuanto al largo y diámetro se encuentran dentro cerca del dato referenciado en el Catálogo de Clones del CATIE.

Cuadro 11.

Características físicas de la semilla fermentada de los clones de la finca APPTA

Clon	Masa ((g)	Largo Semilla (cm)	Diámetro (cm)	Forma del corte	Color
R4	54,45	2,50	1,10	Longitudinal	Café
R6	50,41	2,35	1,10	Longitudinal	Café
PMCT-58	59,83	2,23	0,98	Longitudinal	Café

Cuadro 12.

Características físicas de la semilla fermentada de los clones de la finca WATSI

Clon	Masa (g)	Largo Semilla (cm)	Diámetro (cm)	Forma del corte	Color
R4	59,66	2,48	1,04	Longitudinal	Café
R6	33,41	2,40	1,10	Longitudinal	Café
PMCT-58	44,97	2,07	1,02	Longitudinal	Café

8.6 Relación entre la dinámica poblacional de los polinizadores y la cantidad de flores en los sistemas de producción evaluados.

En la figura 16 muestra las medias de los insectos muestreados en cada una de las fincas evaluadas, podemos observar como la finca tradicional (Watsi) presenta significativamente mayor cantidad de insectos, el doble de cantidad que la finca convencional (La Lola) y el triple de cantidad que la finca orgánica (APPTA). De las tres fincas evaluadas, la finca orgánica (APPTA) es la que presentó menor cantidad de insectos polinizadores.

La figura 17, muestra las medias de la cantidad de flores contabilizadas en cada una de las fincas evaluadas, y se observa el mismo comportamiento. La finca tradicional (Watsi) es la que presentó la mayor cantidad de flores, luego le sigue la convencional (La Lola) y por último la orgánica (APPTA) que fue la que contabilizó menor cantidad de flores.

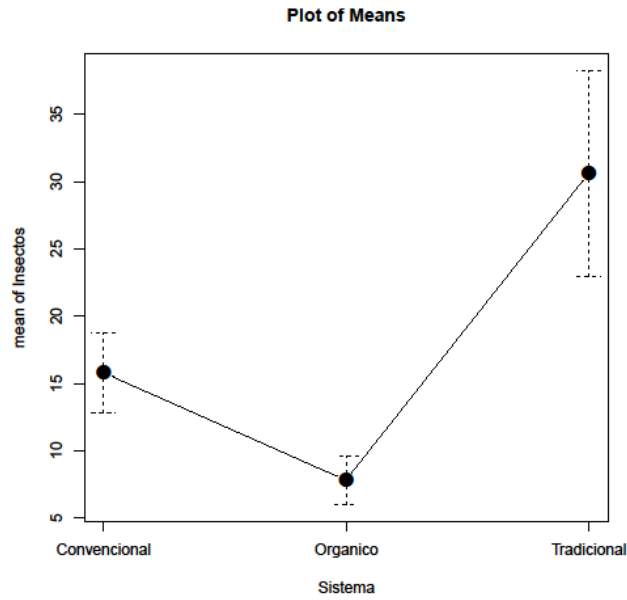


Figura 14. Media de insectos muestreados

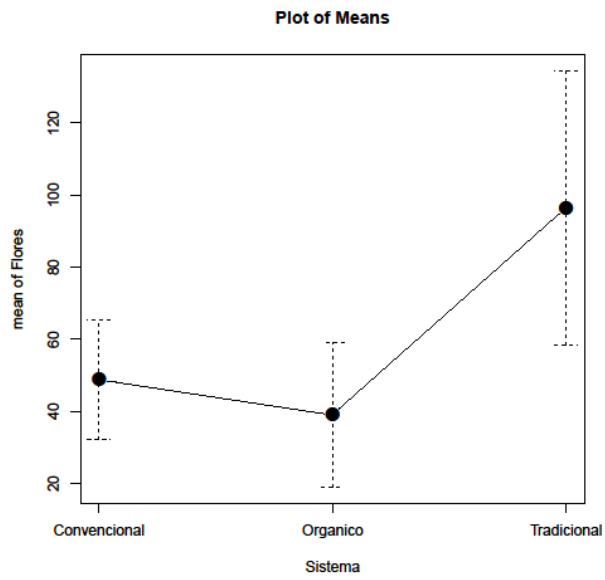


Figura 15. Media de flores contabilizadas

9 Conclusiones y Recomendaciones

Hay un efecto positivo en la relación entre la cantidad de polinizadores y la productividad del cultivo de cacao. El manejo del cultivo pareciera tener un gran impacto en la ecología de los insectos polinizadores. Al tratarse de insectos con una etapa larvaria acuática, el manejo de la hojarasca, cascaras de mazorca de cacao y otra materia orgánica en el cultivo incide en la dinámica poblacional de los polinizadores de cacao.

A pesar de que algunas de las variables se trataron de controlar, como las horas del día en que se realizaba los muestreos, el método de muestreo, la misma cantidad de flores muestreadas y los mismos clones de árboles seleccionados; habían otras variables que no se podían controlar como los diferentes microclimas y los recursos disponibles (luz y nutrientes) en cada una de las fincas evaluadas. El aspecto de nutrición es un factor que puede al menos tratar de registrarse para profundizar sobre rendimiento del cultivo según los diferentes manejos.

Al no contar con un área de producción de cacao lo suficientemente grande como para establecer un diseño experimental más apropiado, justamente para minimizar estas variables no controlables, es decir en una misma finca, encontrar o establecer los tres manejos evaluados (convencional, orgánico, tradicional) hizo que se tuviera que realizar el estudio en tres áreas diferentes, 28 millas, Bratsi y Watsi.

Si bien es cierto no se puede asegurar que los insectos muestreados, fueron los encargados del servicio de polinización, con el método de muestreo utilizado se asegura que los insectos al menos estaban dentro de la flor.

A pesar de que la literatura menciona que especies de la familia *Ceratopogonidae* son los insectos especializados en brindar el servicio de polinización de cacao, los resultados no evidenciaron tanta presencia de éstos, solamente se encontraron dos especímenes en la finca orgánica (APPTA). A diferencia de especies de la familia *Thysanoptera* que fueron los insectos que se encontraron en mayor cantidad en cada una de las tres fincas. Especies de la familia *Cecidoniidae* también fueron encontradas en las tres fincas.

La finca tradicional (Watsi) fue la que registró mayor cantidad de insectos, también registró mayor cantidad de flores y mayor cantidad de frutos, en cantidades considerable a comparación con las otras dos fincas (orgánica y convencional). La finca orgánica (APPTA) fue la que registró menor cantidad de insectos, flores y frutos.

Con respecto a las características de los frutos cosechados, estos mostraron mediciones mayores a las referenciadas para dichos clones en aspectos como el tamaño de mazorca y

contenidos de semillas, sin embargo, ya se mencionó que existen variables no controlables que también inciden en estos aspectos y no sólo la presencia de polinizadores.

10 Agradecimientos

Los investigadores desean externar un sincero agradecimiento a la estudiante asistente Virginia Torres quien a lo largo del proyecto aportó su trabajo en campo, en laboratorio y la redacción del informe final.

De igual manera se agradece a los propietarios de las fincas (APPTA, CATIE y Marina López) que nos permitieron utilizar sus fincas para acceder a la toma de datos en campo. A Annia Picado, funcionaria del INBIO, quien desde el laboratorio de entomología del INBIO nos colaboró con la identificación de los especímenes de insectos.

11 Bibliografía

- Allen-Wardell, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchmann, S., Cane, J., . . . Ingram, M. (1998). The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*, 8-17.
- Brew, A. (1985). *Studies on cocoa pollination in Ghana*. Paper presented at the Proceedings, Lome, Togo, 12-18 Feb/Fev 1984/9 International Cocoa Research Conference= Actes, Lome, Togo, 12-18 Feb/Fev 1984/9 Conference internationale sur la recherche cocoaoyere.
- Brew, A. (1988). Cocoa pod husk as a breeding substrate for *Forcipomyia* midges and related species which pollinate cocoa in Ghana. *Cocoa Growers Bulletin*.
- Bystrak, P. G., & Wirth, W. W. (1978). *The North American species of Forcipomyia, subgenus Euprojoannisia (Diptera: Ceratopogonidae)*: Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Chacoff, N. P., & Aizen, M. A. (2006). Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology*, 43(1), 18-27. doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01116.x
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., . . . Paruelo, J. (2016). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital (1997). *The Globalization and Environment Reader*, 117.
- Dubón, A., & Sánchez, J. (2011). *Manual de producción de cacao*. La Lima, Cortés, Honduras.
- Elizondo, J. (1988). *Evaluación de 12 diferentes tipos de musáceas como sitios de crianza para las mosquitas polinizadoras del cacao (Forcipomyia spp.) a la sombra y al sol en La Lola, Costa*

- RicaProceedings*. Paper presented at the 10. International Cocoa Research Conference 17-23 May 1987 Santo Domingo (R. Dominicana).
- Enríquez, G. (2009). Tecnología, botánica del cacao.
- Frimpong, E., Gordon, I., Kwapong, P., & Gemmill-Herren, B. (2009). Dynamics of cocoa pollination: tools and applications for surveying and monitoring cocoa pollinators. *International Journal of Tropical Insect Science*, 29(02), 62-69.
- Ibrahim, A. G., & Hussein, A. M. (1987). Role of insects in the pollination of cocoa [Theobroma cacao] flowers. *Pertanika (Malaysia)*.
- Ingram, M., Nabhan, G., & Buchmann, S. (1996). Our forgotten pollinators: Protecting the birds and bees. *Global Pesticide Campaigner*, 6(4), 1-8.
- Kearns, C. A., Inouye, D. W., & Waser, N. M. (1998). Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual review of ecology and systematics*, 29(1), 83-112.
- Luna, J. M. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín sociedad entomológica Aragonesa*, 37, 385-408.
- Navarro, M., & Mendoza, A. (2006). *Cultivo del cacao en sistemas agroforestales: Guía técnica para promotores*. Nicaragua.
- Phillips-Mora, W., Arciniegas-Leal, A., Mata-Quirós, A., & Motamayor-Arias, J. C. (2012). Catálogo. Relief, L. W. (2015).
- Richards, A. J. (1986). *Plant breeding systems*: George Allen & Unwin.
- Ricketts, T. H., Daily, G. C., Ehrlich, P. R., & Michener, C. D. (2004). Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(34), 12579-12582.
- Romero, K. (2014). *Propuesta de un diseño agroforestal con cacao y especies maderables en la región de Lachuá, Guatemala*. Retrieved from Cartago, Costa Rica:
- Roubik, D. W. (2002). Tropical agriculture: the value of bees to the coffee harvest. *Nature*, 417(6890), 708-708.
- Soria, S. d. J. (1979). Ceratopogonid, midges (Diptera: Nematocera) collected from cacao flowers in Palmira, Colombia: An account of their pollinating abilities. *Revista Theobroma (Brasil)* v. 9 (2) p. 77-84.
- Winder, J. (1978). Cocoa flower Diptera; their identity, pollinating activity and breeding sites. *Pans*, 24(1), 5-18.
- Wood, G. (2001). *Cocoa*. London: Blackwell Science.
- Young, A. M. (1982). Effects of shade cover and availability of midge breeding sites on pollinating midge populations and fruit set in two cocoa farms. *Journal of Applied Ecology*, 47-63.
- Young, A. M. (1986). Habitat differences in cocoa tree flowering, fruit-set, and pollinator availability in Costa Rica. *Journal of tropical ecology*, 2(02), 163-186.
- Young, A. M., & Moffett, M. W. (1979). Studies on the population biology of the tropical butterfly *Mechanitis isthmia* in Costa Rica. *American Midland Naturalist*, 309-319.