

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO**

**COMPOSICIÓN DE ENTOMOFAUNA VOLADORA PRESENTE EN CINCO  
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CACAO (*Theobroma cacao*) Y SU  
RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES**

**THALIA FLORES CHOQUEHUANCA**

**La Paz – Bolivia**

**2023**

**COMPOSICIÓN DE ENTOMOFAUNA VOLADORA PRESENTE EN  
CINCO SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CACAO (*Theobroma cacao*) Y  
SU RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES**

*Tesis de Grado presentado como requisito  
parcial para optar el título de  
Ingeniera Agrónoma*

**THALIA FLORES CHOQUEHUANCA**

**Asesores:**

MSc. Teresa Ruiz Diaz Luna Pizarro

\_\_\_\_\_

Lic. Yamil Narci Maidana Tuco

\_\_\_\_\_

**Tribunales:**

Ing. Agr. María Eugenia Cari Mamani

\_\_\_\_\_

Ing. Agr. Gregorio Zapata Limachi

\_\_\_\_\_

**Aprobada**

Presidente Tribunal Examinador .....

**La Paz – Bolivia**

**2023**

**Este trabajo va dedicado con todo cariño  
a mi familia y a la increíble biodiversidad de nuestro planeta,  
esperando que sirva de inspiración para adentrarse  
en el conocimiento de la entomología.**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente al proyecto “Densidad de polinizadores de cacao (*Theobroma cacao L.*) en cinco sistemas de producción en Sara Ana, Alto Beni, Bolivia”, que es parte del ensayo de “Comparación de Sistemas de Producción a largo plazo en el trópico de Bolivia” por la oportunidad de permitirme formar parte del equipo en condición de becaria para el desarrollo de la tesis.

Así también agradecer a mi madre Sabina Choquehuanca Puñi, a mis hermanos Marialena, Heyner, Edith, Joel y a mis cuñados Luis y Susi por el enorme cariño y apoyo brindado a lo largo de mi vida universitaria. A mis amigos Franz Huanca y Cristhian Huaylluco por el entusiasmo y apoyo incondicional.

Igualmente, agradecer a mi asesora M. Sc. Teresa Ruiz Diaz Luna Pizarro por el apoyo y la inspiración de fortaleza brindada en el transcurso universitario. A mi asesor Lic. Yamil Maidana Tuco un agradecimiento profundo por su paciencia, enseñanza y guía para el desarrollo de la tesis. Al director del Laboratorio Boliviano de Biota y Desarrollo (BIOSBO) Dr. Jaime Ivan Rodríguez un enorme agradecimiento por la paciencia, el tiempo, la enseñanza y orientación brindada al momento de la identificación de las muestras de artrópodos colectados. A los biólogos Lic. Miguel Limachi, Lic. Oswaldo Palabral, Lic. Nathalie Herrera, por su preocupación y animo brindado. Al Ing. Agr. Roly Choque por el ánimo y apoyo absoluto otorgado durante todo el proceso de la tesis. A mis tribunales Ing. Gregorio Zapata e Ing. Maria Eugenia Cari por sus observaciones y comentarios que enriquecieron el trabajo.

Finalmente, quiero agradecer a la Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, por la formación profesional y personal que me brindaron durante el periodo universitario.

## INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCION .....	1
1.1.	Justificación.....	3
2.	OBJETIVOS.....	4
2.1.	Objetivo general .....	4
2.2.	Objetivos específicos.....	4
2.3.	Hipótesis.....	4
3.	REVISION BIBLIOGRAFICA.....	5
3.1.	El cultivo de cacao en Bolivia .....	5
3.2.	Clasificación taxonómica .....	5
3.3.	Sistemas de producción del cacao .....	6
3.4.	Entomofauna en el cacao .....	7
3.4.1.	Descripción de algunos grupos taxonómicos encontrados comúnmente en plantaciones de cacao.....	8
3.5.	Factores que influyen en la abundancia de entomofauna .....	14
3.6.	Medidas de diversidad.....	15
3.6.1.	Medición de la diversidad alfa .....	16
3.6.1.1.	Índice de uniformidad (índice de Pielou).....	16
3.6.1.2.	Índice de Simpson inverso.....	17
3.6.2.	Medición de la diversidad beta .....	17
3.6.2.1.	Índice de similitud temporal Morisita-Horn .....	17
4.	LOCALIZACION.....	18
4.1.	AREA DE ESTUDIO .....	18
4.2.	Clima .....	19
4.3.	Vegetación .....	19
5.	MATERIALES Y METODOS .....	19
5.1.	Materiales de estudio.....	19
5.1.1.	Materiales de campo .....	19
5.1.2.	Materiales de laboratorio .....	19
5.2.	Método de estudio .....	19
5.2.1.	Diseño de estudio.....	19
5.2.2.	Determinación de las variedades de estudio .....	20
5.2.3.	Colecta de muestras.....	21
5.2.4.	Registro de variables ambientales.....	22
5.2.5.	Identificación .....	23

5.3.	Procedimiento experimental .....	23
5.3.1.	Análisis estadístico .....	23
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	26
6.1.	Descripción de la comunidad de entomofauna .....	26
6.2.	Relación de diferentes variables ambientales con la composición de entomofauna encontrada en cada sistema de producción y barbechos .....	31
6.2.1.	Descripción de la composición de entomofauna .....	31
6.2.2.	Descripción de las variables ambientales .....	33
6.2.3.	Relación del porcentaje de cobertura del suelo, el Índice de Iluminación de Copa y porcentaje de flores abiertas con la entomofauna .....	36
6.2.4.	Relación de las especies acompañantes (arbóreas y arbustivas) con la entomofauna .....	38
6.3.	Descripción de la comunidad de entomofauna del orden Díptera .....	39
6.4.	Relación de las diferentes variables ambientales con la composición de entomofauna de dípteros presentes en cada sistema de estudio .....	45
6.4.1.	Descripción de la semejanza en composición de comunidades de entomofauna de dípteros .....	45
6.4.2.	Relación del porcentaje de cobertura del suelo, el Índice de Iluminación de Copa y el porcentaje de flores abiertas con la entomofauna de dípteros ....	47
6.4.3.	Relación de las especies acompañantes (arbóreas y arbustivas) con la entomofauna de díptera .....	48
7.	CONCLUSIONES .....	50
8.	RECOMENDACIONES .....	51
9.	BIBLIOGRAFIA .....	52

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pagina.</b>
<b>Figura 1.</b> Insecto perteneciente al orden Coleoptera .....	<b>8</b>
<b>Figura 2.</b> Insectos perteneciente al orden Hemiptera. ....	<b>9</b>
<b>Figura 3.</b> Insectos pertenecientes al orden Hymenoptera,.....	<b>10</b>
<b>Figura 4.</b> Insectos pertenecientes al orden Thysanoptera .....	<b>10</b>
<b>Figura 5.</b> Insecto perteneciente al orden Diptera (Cecidomyiidae).....	<b>12</b>
<b>Figura 6.</b> Insecto perteneciente al orden Diptera (Ceratopogonidae).....	<b>12</b>
<b>Figura 7.</b> Insecto perteneciente al orden Diptera (Phoridae).....	<b>13</b>
<b>Figura 8.</b> Insecto perteneciente al orden Diptera (Ulidiidae) .....	<b>13</b>
<b>Figura 9.</b> Insecto perteneciente al orden Diptera (Stratiomyidae) .....	<b>14</b>
<b>Figura 10.</b> Ubicación geográfica del ensayo de “Comparación de sistemas de producción de cacao a largo plazo”.....	<b>18</b>
<b>Figura 11.</b> Ejemplo de la distribución de Variedades de Estudio .....	<b>21</b>
<b>Figura 12.</b> Gráfico de cajas y bigotes para la distribución del índice de diversidad, riqueza y abundancia de entomofauna en relación al sistema de estudio.....	<b>26</b>
<b>Figura 13.</b> Curvas de rango-abundancia de la entomofauna a nivel de orden en los cinco sistemas de producción y barbecho. ....	<b>31</b>
<b>Figura 14.</b> Curvas de rarefacción de la entomofauna a nivel de orden .....	<b>31</b>
<b>Figura 15.</b> Dendrograma obtenido a partir del índice de Morisita-Horn en función a los sistemas de estudio. ....	<b>323</b>
<b>Figura 16.</b> Diagrama de cajas de la distancia de especies arbustivas acompañantes en los diferentes sistemas de estudio. ....	<b>34</b>
<b>Figura 17.</b> Diagrama de cajas de la cobertura del dosel en los diferentes sistemas de estudio. ....	<b>34</b>
<b>Figura 18.</b> Diagrama de cajas de la distribución del índice de iluminación de copa en los sistemas de estudio. ....	<b>35</b>
<b>Figura 19.</b> Temperatura y Humedad del ambiente en los diferentes sistemas de estudio . ....	<b>35</b>
<b>Figura 20.</b> Porcentaje de flores abiertas (FLA) y cerradas (FLC) en relación a los diferentes sistemas de estudio.....	<b>36</b>
<b>Figura 21.</b> Distribución de las diferentes variables dependientes de dípteros en relación al sistema de estudio. ....	<b>39</b>
<b>Figura 22.</b> Curvas rango - abundancia de familias del orden Díptera en los sistemas de estudio. ....	<b>44</b>
<b>Figura 23.</b> Curvas de rarefacción de la riqueza de familias del orden Díptera en los sistemas de estudio. ....	<b>45</b>
<b>Figura 24.</b> Dendrograma de similitud de comunidades de Díptera de los sistemas de producción y barbecho.....	<b>47</b>

## INDICE DE TABLAS

	Pagina.
<b>Tabla 1.</b> Variedades de cacao presentes en el centro de investigación de Sara Ana.....	<b>20</b>
<b>Tabla 2.</b> Abundancias absoluta (n) y relativa (%) de los diferentes ordenes registrados en cada sistema de estudio descartando la presencia de hormigas registradas (Formicidae). ....	<b>28</b>
<b>Tabla 3.</b> Prueba ANOVA de las variables dependientes, abundancia e índices diversidad de entomofauna voladora a nivel de orden con el sistema de producción. ....	<b>28</b>
<b>Tabla 4.</b> Resultado del análisis post-hoc de Tukey comparando el índice de diversidad y la abundancia, de entomofauna voladora a nivel de orden con los diferentes sistemas de estudio ( <i>Resultados significativos <math>P &lt; 0,05</math> resaltados en color rojo</i> ). ....	<b>28</b>
<b>Tabla 5.</b> Abundancia, riqueza, índice de diversidad de Simpson y equitatividad de Pielou de la entomofauna registrada a nivel de orden en los diferentes sistemas de estudio. ....	<b>28</b>
<b>Tabla 6.</b> Resultados del porcentaje (%) de esfuerzo de muestreo a través de la riqueza observada vs la riqueza esperada. ....	<b>31</b>
<b>Tabla 7.</b> Resultados del índice de similitud de Morisita – Horn.....	<b>32</b>
<b>Tabla 8.</b> Resultados del análisis de regresiones lineales múltiples para los datos de cobertura del suelo asociada a la copa del árbol e índice de iluminación de copa .....	<b>37</b>
<b>Tabla 9.</b> Resultados del análisis del modelo lineal de efectos mixtos para los datos de especies acompañantes (arbustivas y arbóreas) a los árboles de estudio .....	<b>38</b>
<b>Tabla 10.</b> Resultados del análisis de varianza de una vía para las diferentes variables dependientes de Díptera compradas con el sistema de estudio .....	<b>40</b>
<b>Tabla 11.</b> Abundancias absolutas y relativas de las diferentes familias del orden Díptera identificados en los seis sistemas de estudio. ....	<b>41</b>
<b>Tabla 12.</b> Abundancia, riqueza, índice de diversidad de Simpson y equitatividad de Pielou de la entomofauna registrada de díptera en los diferentes sistemas de estudio.....	<b>43</b>
<b>Tabla 13.</b> Esfuerzo de muestreo de familias del orden Díptera en los sistemas de estudio, obtenidas a partir de estimadores no paramétricos. ....	<b>45</b>
<b>Tabla 14.</b> Resultados del índice de similitud de comunidades de Morisita – Horn para el orden Díptera. ....	<b>46</b>
<b>Tabla 15.</b> Comparación de mejores modelos contra sus respectivos modelos nulos a través de la Prueba de Razón de Verosimilitud ( <i>Test LRT</i> ) para los datos del orden Díptera .....	<b>48</b>
<b>Tabla 16.</b> Comparación de mejores modelos contra sus respectivos modelos nulos a través de la Prueba de Razón de Verosimilitud ( <i>Test LRT</i> ) para los datos de especies acompañantes en relación al orden Díptera .....	<b>49</b>

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Abundancias absoluta y relativa de los diferentes ordenes registrados en cada sistema de estudio considerando la presencia de hormigas registradas (Formicidae).....	<b>57</b>
<b>Anexo 2:</b> Análisis de correlación de las diferentes variables de estudio (FLA: Flores abiertas, FCL: Flores cerradas, HO: Hojarasca, SD: Suelo desnudo, HE: Herbáceas, FD: Frutos en descomposición, TEM: Temperatura del ambiente, HUM: Humedad relativa del ambiente). ....	<b>58</b>
<b>Anexo 3:</b> Análisis de correlación de las diferentes especies acompañantes.....	<b>58</b>
<b>Anexo 4:</b> Especies forestales acompañantes registradas en los diferentes sistemas de producción y barbecho. ....	<b>59</b>
<b>Anexo 5:</b> Diagrama de cajas del comportamiento de las diferentes variables dependientes con la variedad de cacao. ....	<b>62</b>

## RESUMEN

La conversión de un ambiente natural para el manejo de una agricultura intensiva ha tenido numerosos efectos sobre el ecosistema de un modo tan severo que muy poco de la biota y el paisaje natural permanecen. Los sistemas de agricultura poco intensivas como los agroforestales, parecen ser una alternativa para contrarrestar estos efectos, ya que llegan a formar hábitats con microclimas aptos para albergar diferentes especies de vida silvestre. Sin embargo, estos efectos también pueden estar influenciados por el manejo del cultivo (ya sea de tipo convencional u orgánico). En el presente estudio se evaluó la composición de entomofauna voladora presente en cinco sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao*) y su relación con variables ambientales. Además de su comparación con parcelas en estado de Barbecho. La colecta de muestras se realizó en la finca de Sara Ana – Alto Beni, en dos variedades de cacao (Ila22 y TSH-565) y con el método de muestreo pan traps. El análisis exploratorio para la variedad de cacao mostró que este no altera la composición de entomofauna en general; sin embargo, el sistema de producción si afectó a la abundancia y diversidad de entomofauna a nivel de orden y no así a la riqueza a nivel de orden y la composición en general de dípteros. La composición de entomofauna de ordenes estuvo relacionada con el porcentaje de flores abiertas, el índice de iluminación de copas y el porcentaje de herbáceas; empero ninguna de las variables ambientales estuvo relacionada con la composición de dípteros. De las 37 especies acompañantes (arbustivas y arbóreas), solo cinco presentaron alguna relación con la composición de entomofauna a nivel de orden y familia (Diptera).

## 1. INTRODUCCION

El cacao (*Theobroma cacao*) es una de las especies más importantes del mundo y la más conocida de las 22 especies presentes en todo el género *Theobroma*, Malvaceae, el cual se originó hace millones de años al este de los andes y se encuentra distribuida en Asia, África, América latina y el Caribe (ICCO, 2016; ICCA, 2017). Existen tres tipologías de cultivares a partir de las cuales se desprenden las diferentes variedades, híbridos y clones que varían según la morfología, origen genético y geográfico (criollos, forasteros y trinitarios) (Almeida, 2007; IICA, 2017) En América se concentra el 17 % de la producción mundial de cacao difundida a nivel comercial en al menos 23 países, donde Brasil, Ecuador, Republica Dominicana, Perú Colombia y México representan el 90 % de la producción en el continente (IICA, 2017).

En Bolivia se cuenta con el cacao foráneo, que comprende grupos genéticos amazónicos, el cacao trinitario, que resulta de la hibridación entre cacao criollo y genotipos foráneos de la amazonia baja y el cacao nacional boliviano (CNB) que es tradicionalmente cultivado desde la época de la colonia (IICA, 2008; FAO, 2019). El cultivo de cacao se encuentra presente en las áreas tropicales de La Paz, Beni, Pando, Santa Cruz y Cochabamba, siendo la región de Alto Beni (La Paz) el mayor productor de cacao amazónico y trinitario, en superficie (Martínez, 2007, citado por, Arvelo, *et al.* 2017).

El Instituto Nacional de Estadística (INE) para el 2019 estimó que existe 14.884 ha de cacao cultivado forastero/trinitario en todo el país (Ibáñez, 2019), donde la mayor producción se realiza en fincas familiares con variedades comerciales (Naoki *et. al.*, 2017). Las técnicas de producción pueden variar desde monocultivos a sistemas agroforestales, donde estos últimos sistemas permiten la afluencia de árboles del lugar y la implementación de diferentes cultivos, que dan lugar a numerosas interacciones ecológicas y, por ende, un mejor aprovechamiento agronómico y económico (Ramos, 2011; Fundación ECOTOP, *s.f.*; Somarriba, 2004; Landeros-Sánchez *et al.* 2011). Y desde un manejo orgánico a un manejo de tipo convencional, siendo el uso de productos agroquímicos la principal diferencia entre estos (IICA, 2008; Fundación ECOTOP, *s.f.*; Bazoberry, 2008).

La conversión de la vegetación natural para el aprovechamiento humano ha tenido numerosas consecuencias en la biodiversidad nativa (González-Valdivia, 2016). Los efectos de la agricultura intensiva tienden a modificar el ecosistema de un modo tan severo que muy poco de la biota y el paisaje permanecen (Landeros-Sánchez *et al.* 2011). Sin embargo, los sistemas

de agricultura poco intensivas forman hábitats con microclimas aptos para albergar diferentes especies de vida silvestre (Naoki *et al*, 2017; Limachi, 2018; Picucci, 2020). Ya que la estructura del dosel al presentar una cobertura heterogénea de diferentes estratos controla la cantidad y calidad de la distribución temporal y espacial de radiación solar dentro de la plantación, influyendo en la dinámica de viento, humedad relativa y temperatura, que conforman el hábitat de varios insectos y otros animales (Jennings, 1999; Somarriba, 2004; Indriati, *et al*, 2019).

Las plantas de cacao, al ser especies que prosperan mejor bajo sombra (ya sea por los requerimientos térmicos y/o lumínicos), dependen de una regulación de la misma por medio de árboles acompañantes y podas (ICCA, 2008). Sin embargo, un exceso en la densidad de plantas de dosel (maderables, frutales, palmáceas y musáceas) impide la entrada de luz, disminuyendo la floración y, por consiguiente, la abundancia y presencia de algunos insectos (Córdoba *et al*. 2013). Aunque cabe resaltar que esta intensidad de floración puede variar también según diferentes condiciones (ya sea según la variedad del cacao, por la época o por la iluminación de la copa) (Groeneveld *et al*, 2010; Picucci, 2020). Asimismo, las diferentes plantas acompañantes, la humedad y la presencia de hojarasca, suelo desnudo y frutos en descomposición pueden afectar de manera positiva y/o negativa a la composición de entomofauna en general y polinizadores, (Indriati *et al*, 2019; Bravo *et al*, 2010; Frimpong *et al*, 2011; Vásquez *et al*, 2020; Córdoba *et al*. 2013).

Existen diferentes estudios sobre la composición de insectos polinizadores y/o visitantes esporádicos en el cultivo de cacao (Frimpong *et al*, 2009; Bravo *et al*, 2010; Córdoba *et al*, 2013; Chumacero, 2016), pero muy poco sobre su comparación en diferentes sistemas de producción (Herren, 2015; Zegada *et al*, 2020). Siendo que este último podría ser esencial para elegir condiciones favorables de manejo de este cultivo y entender uno de los servicios ecosistémicos más importantes ofrecidos por estos insectos (Ramos, 2011; Groeneveld *et al*, 2010). Esto se hace más relevante sabiendo que la mayoría de las variedades de cacao tienden a ser autoincompatibles, lo que hace que su polinización sea estrictamente entomófila (Ríos, 2015; Adjaloo y Oduro, 2013).

En diferentes partes del mundo se cree que la polinización del cacao se da casi exclusivamente por dípteros, de la familia Ceratopogonidae (géneros *Forcipomyia*, *Dasyhelea*, *Atrichopogon*) y Cecidomyiidae (géneros *Lestodiplosis* y *Clinodiplosis*) (Bravo *et al*, 2010; Ríos, 2015; Gonzáles, 2018; Gómez, 2018). Aunque algunas investigaciones realizadas en la misma región de este estudio demuestran que las abundancias de insectos de estas familias son muy

bajas (Chumacero *et al*, 2013; Zegada *et al*, 2020), reportando otros grupos como más abundantes, que por otro lado son considerados polinizadores casuales o visitantes florales ilegítimos, como ser dípteros de la familia Phoridae, trips (Thysanóptera), hormigas, algunas abejas (Himenóptera) y pulgones (Hemíptera) entre los más destacados (Córdoba *et al.*, 2013; Chumacero *et al*, 2016; Zegada *et al*, 2020). Lo que muestra una variabilidad de polinizadores potenciales del cacao, que a su vez puede estar determinado por las condiciones ambientales de cada caso. Por ello, determinar las condiciones óptimas para sustentar una comunidad de insectos, sería importante para mejorar el rendimiento adecuado en la producción de cacao (Kaufman, 1975, citado por Adjaloo y Oduro, 2013).

### **1.1. Justificación**

El cacao (*Theobroma cacao*) es una especie perenne con flores hermafroditas, es decir que presenta órganos reproductivos masculinos y femeninos en la misma flor (\*; S5; P5; A5 + 5°; G (5)) (Ríos, 2015). Esta flor tiene una estructura compleja que impide una fácil polinización, pues las anteras se encuentran recubiertas con la cogulla, que es una capsula formada por los pétalos (Bravo *et al.*, 2010; Ríos, 2015). Es así que, insectos polinizadores comunes, como abejas y mariposas son incapaces de impregnarse con el polen de cacao (Goitia, 1992, citado por Ramos, 2011). Lo cual hace necesario que insectos muy pequeños realicen esta labor, ya que debido a la autoincompatibilidad que presentan la mayoría de los genotipos de cacao, la polinización tiende a ser de tipo cruzada y en especial de tipo entomófila (Adjaloo y Oduro, 2013; Ríos, 2015)

Por tanto, la importancia en investigaciones sobre taxonomía y el conocimiento de las poblaciones de insectos presentes en el cultivo, radica en comprender el funcionamiento de las actividades agroecosistémicas ofrecidas por estos grupos y así poder desarrollar programas de manejo adecuado del cultivo (Soria, 1979; Narvaez y Marin, 1996, citados por Bravo *et al.* 2010), lo cual se expresa en el éxito de los rendimientos del mismo (Ramos, 2011; Groeneveld *et al*, 2010) Es así que, el presente estudio aporta con conocimiento de entomofauna recurrente al dosel en cacao para determinar su composición respecto a diferentes sistemas de cultivo del mismo. Para ello, se realizó una clasificación taxonómica a nivel de orden, con énfasis en el orden Díptera, el cual fue identificado hasta nivel de familia. Asimismo, se comparó el índice de diversidad de los grupos registrados en cinco sistemas de producción diferentes de cacao (sistema agroforestal sucesional, monocultivo convencional y orgánico, y Agroforestal convencional y orgánico) y parcelas de barbecho, tomando en cuenta las condiciones ambientales de cada una. Todos los datos fueron recabados en época seca.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar la composición de entomofauna voladora presente en cinco sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao*) y su relación con variables ambientales

### 2.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar la riqueza, abundancia y los índices de diversidad para determinar y comparar la composición de entomofauna voladora a nivel de orden presente en diferentes sistemas.
- ✓ Evaluar la relación de diferentes variables ambientales (temperatura y humedad del ambiente, cobertura del suelo asociada a la copa del árbol, cobertura de la copa del árbol, índice de iluminación de copa y porcentaje de flores abiertas y cerradas) con la composición de entomofauna encontrada entre los diferentes sistemas.
- ✓ Evaluar la riqueza, abundancia y los índices de diversidad para determinar y comparar la composición de entomofauna voladora de dípteros presente en los diferentes sistemas.
- ✓ Evaluar la relación de diferentes variables ambientales (temperatura y humedad del ambiente, cobertura del suelo asociada a la copa del árbol, cobertura de la copa del árbol, índice de iluminación de copa y porcentaje de flores abiertas y cerradas) con la composición de entomofauna de dípteros encontrados entre los diferentes sistemas.

### 2.3. Hipótesis

- ✓ En general, la diversidad de entomofauna puede variar acorde a las condiciones ambientales. Por consiguiente, se espera que los diferentes sistemas de producción de cacao que tienen diferentes estrategias de manejo, presenten una composición de entomofauna variable.

### 3. REVISION BIBLIOGRAFICA

#### 3.1. El cultivo de cacao en Bolivia

El cultivo de cacao fue promovido por el gobierno boliviano en la década de los 60 como principal fuente de ingreso económico para los colonizadores de la región amazónica de Alto Beni (Villegas 2004; July 2007 citados por Lohse, 2018). En 1961 el Instituto Nacional de Colonización introdujo semillas de cacao híbrido de Ecuador, Trinidad y Tobago a esta región (RIMISPNZAID-El Ceibo 2007 citado en Espinoza *et al.*, 2014). En la misma región de Alto Beni, en los años 70, se trabajó con apoyo de la Cooperación Alemana, logrando obtener una buena producción a comparación de Cochabamba y Santa Cruz. Desde entonces se impulsó la producción de cacao híbrido en la cooperativa El Ceibo, estableciendo los primeros sistemas agroforestales en Alto Beni y Caranavi (Espinoza *et al.*, 2014).

Por otro lado, la base productiva del cacao boliviano se encuentra en manos de pequeños productores campesinos e indígenas, estimándose que en toda Bolivia existen alrededor de 4000 productores independientes (Espinoza *et al.*, 2014). Se calcula que alrededor de 9.000 familias distribuidas en cinco departamentos (La Paz, Beni, Santa Cruz, Pando y Cochabamba) proveen el 81% de la producción (FAO en Bolivia, 2019).

En la actualidad, Bolivia cuenta con dos tipos principales de cacao: El cacao silvestre que crece naturalmente en la Amazonia boliviana y el foráneo, que comprende el cacao forastero amazónico distribuido naturalmente por la cuenca del amazonas y cacao trinitario resultado del cruce de cacao criollo y forastero en la isla de Trinidad (de donde proviene su nombre). (FAO en Bolivia, 2019; IICA, 2009).

#### 3.2. Clasificación taxonómica

<b>Dominio:</b>	Eukarya
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>Clado:</b>	Eudicotiledonea
<b>Clado:</b>	Superrosidas
<b>Clado:</b>	Rosidas
<b>Clado:</b>	Malvidas
<b>Orden:</b>	Malvales
<b>Familia:</b>	Malvaceae
<b>Subfamilia:</b>	Byttnerioideae
<b>Genero:</b>	Theobroma
<b>Especie</b>	<i>Theobroma cacao</i> L.

Fuente: Rojas, 2019

### 3.3. Sistemas de producción del cacao

Los cultivos de cacao son considerados hábitats aptos para albergar diferentes especies de vida silvestre (Naoki, *et al* 2017). Donde las técnicas de producción pueden variar desde monocultivos a sistemas agroforestales sucesionales o dinámicos (Landeros-Sánchez *et al.* 2011; ECOTOP, s.f.). Y de un manejo convencional a un manejo orgánico, siendo la principal diferencia entre estos el empleo de insumos agroquímicos, como es el caso de la agricultura convencional (Bazoberry, 2008).

En Bolivia el año 2008 con el fin de contribuir con datos comprobados sobre los efectos de una agricultura convencional y orgánica en sistemas de monocultivo y agroforestales, se instaló un ensayo a largo plazo con énfasis en cacao, en la región de Alto Beni, financiado por un consorcio de donantes de Suiza (Alcón *et al*, 2009). Este ensayo fue situado en un terreno de barbecho alto de 20 años de edad en terrenos del Ceibo, quien otorgo 40 hectáreas al proyecto de investigación en forma de comodato (FIBL, 2013).

Los sistemas de producción establecidos en el centro de investigación de Sara Ana, hoy en día cumplen con las siguientes características:

- ✓ Monocultivo Orgánico (MO): Este sistema dispone a las plantas de cacao como única especie cultivable, sin presencia de sombra ni semisombra. El manejo de estas parcelas es totalmente cultural, prescindiendo del uso de agroquímicos. La fertilización se realiza con la aplicación de compost y el control de malezas se obtiene a partir de la retención de humedad con una cobertura vegetal de glicina (*Neonotonia wightii*), la cual cubre el suelo (FIBL, 2013; Lohse, 2018; Naoki et al, 2017).
- ✓ Monocultivo Convencional (MC): A diferencia de las parcelas de MO, en estas se aprecia el uso de agroquímicos, tanto para la fertilización como para el control de malezas, plagas y enfermedades. Todo esto bajo un concepto de manejo integral (FIBL, 2013; Lohse, 2018; Naoki et al, 2017).
- ✓ Agroforestal Orgánico (AO): Este sistema es el más empleado por los productores de la región, donde además del cultivo de cacao, se tiene la presencia de especies acompañantes (frutales y forestales), que aportan al cultivo principal semisombra, así también este presenta glicina (*Neonotonia wightii*) como cobertura del suelo. Su manejo se basa netamente en el control cultural evitando el uso de agroquímicos y aplicando compost para su fertilización (FIBL, 2013; Lohse, 2018; Naoki et al, 2017).

- ✓ Agroforestal Convencional (AC): Este sistema posee un manejo mixto entre convencional y orgánico, ya que estas parcelas conservan las mismas especies acompañantes que AO, así como cobertura vegetal. Pero son asistidas con agroinsumos tanto para su fertilización como para el control de plagas y enfermedades (Lohse, 2018; Naoki et al, 2017).
- ✓ Sistema Agroforestal Sucesional (AS): Este tratamiento, posee un manejo cultural sistemático de podas y de gran diversidad de especies, simulando un bosque natural y buscando la sucesión natural de las especies conforme a sus respectivos consorcios (Lohse, 2018; Naoki et al, 2017). No se emplea agroquímicos, y el cacao se beneficia de un sistema de semisombra por la presencia de las mismas especies acompañantes que AO y AC, complementadas por otras especies de regeneración natural.

### **3.4. Entomofauna en el cacao**

El estudio de la fauna entomológica o entomofauna, permite conocer al conjunto de insectos que viven en un determinado lugar (López-Gómez *et al*, 2017). Los cuales resultan ser un componente esencial en muchos ecosistemas, permitiendo que el mismo se regule de manera automática en el tiempo con ayuda de los diferentes roles que cumple esta fauna (Guzmán-Mendoza *et al*, 2016). Ya sea desde el punto de vista ecológico o agronómico, estos brindan una serie de servicios ecosistémicos, como es la polinización entomófila (Miñaro *et al*, 2014; Soria, 1971), descomposición de materia orgánica por macrofauna y mesofauna (Díaz *et al*, 2014; Socarrás, 2013), controladores biológicos (Zumbado y Azofeifa, 2018) e indicadores de biodiversidad (Limachi *et al*, 2018; Lafuente *et al*, 2021).

En el cultivo de cacao la importancia del estudio de esta fauna radica en comprender la ecología de los diferentes grupos de artrópodos presentes en el cultivo, para identificar insectos perjudiciales y benéficos que podrían alterar la producción del cacao (Zegada *et al*, 2020).

Según investigaciones realizadas al respecto en diferentes partes del mundo, mencionan que la polinización del cacao se da casi exclusivamente por dípteros, de la familia Ceratopogonidae (Géneros *Forcipomyia*, *Dasyhelea*, *Atrichopogon*) (Bravo *et al*. 2010; Ríos, 2015; Gonzáles, 2018; Gómez, 2018). Y aunque el número total de insectos que participan en la polinización aún no está bien definido, el género *Forcipomyia* resulta ser el más efectivo para algunas regiones del mundo (Frimpong *et al*, 2009; Adjaloo y Oduro, 2013). Esto debido a las características específicas de su estructura morfológica y a la complejidad estructural de la flor, ya que las partes de la misma impiden que los insectos conocidos comúnmente como

polinizadores alcancen el polen que se encuentra en los cinco grupos de anteras cubiertas con la cogulla, que es una capsula formada por los pétalos de la flor (Bravo *et al.*, 2010; Ríos, 2015; González, 2018).

Sin embargo, además de estos dípteros, existe otros grupos considerados como polinizadores casuales o visitantes esporádicos, como ser trips (Thysanópteros), hormigas, abejas (Himenópteros) y pulgones (Hemípteros) entre los más destacados (Córdoba *et al.*, 2013; Gaibor, 2018; Zegada *et al.*, 2020).

### 3.4.1. Descripción de algunos grupos taxonómicos encontrados comúnmente en plantaciones de cacao

Según diferentes estudios estos son los órdenes más abundantes comúnmente registrados en plantaciones de cacao (Dorado, s.f.; Zegada *et al.*, 2020; Vásquez *et al.*, 2020; Frimpong *et al.*, 2009)

#### a) **Coleoptera** Linnaeus, 1758

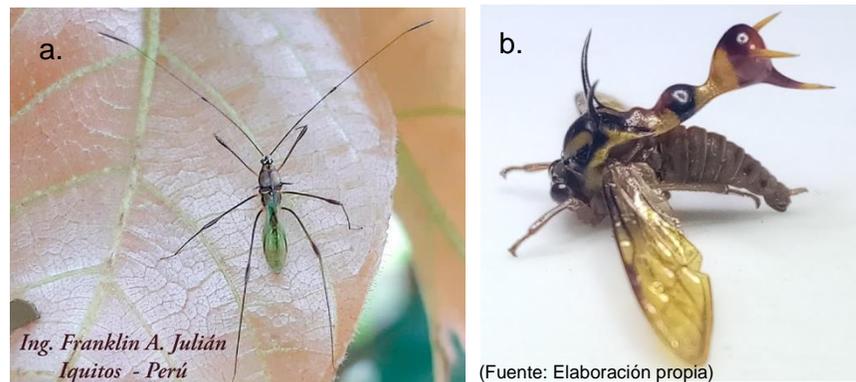
Del griego *koleos* = caja o estuche y *pteron* = ala, “alas duras”, son considerados el grupo más diverso de organismos del reino animal, con más de 350 mil especies descritas. Se caracterizan por su aparato bucal de tipo masticador y el primer par de alas coriáceas o élitros, que sirven para proteger el segundo par de alas (membranosas) y el abdomen. Poseen una metamorfosis completa (holometábolo) y una alimentación variada, siendo muchas especies fitófagas, otras descomponedores de materia orgánica, algunas polinizadores o depredadores (Zumbado y Azofeifa, 2018; Rafael *et al.*, 2012).



**Figura 1.** Insecto perteneciente al orden Coleoptera  
(Fuente: Elaboración propia)

## b) Hemiptera Linnaeus, 1758

Dentro de este orden se encuentran insectos con formas, alas, antenas y hábitos alimenticios muy variados. Encontrando insectos con cuerpos simplificados, algunos sin ojos, antenas o alas; lo que dificulta marcar características que definan a este grupo. Sin embargo, todos comparten un aparato bucal de tipo chupador, con un estilete interno formado por mandíbulas y maxilas modificadas; así también una metamorfosis incompleta (hemimetábolo). Aunque el desarrollo de algunos insectos como las escamas (Pseudococcidae) y la mosca blanca (Aleyrodidae) se asemeja a una metamorfosis completa, teniendo el último estadio ninfal inmóvil y similar a una pupa. Este orden incluye tres subórdenes: Heteroptera (ala anterior generalmente con la mitad basal coriácea y la mitad distal membranosa), Auchenorrhyncha (Ala anterior con textura uniforme de tipo membranosa, antenas cortas y tarsos generalmente trímeros) y Sternorrhyncha (rostro emergiendo aparentemente del esternón entre las coxas y las patas delanteras) (Zumbado y Azofeifa, 2018; Rafael *et al.*, 2012).



**Figura 2.** Insectos perteneciente al orden Hemiptera.

a. suborden Heteroptera; b. suborden Auchenorrhyncha.

## c) Hymenoptera Linnaeus, 1758

Del griego *hymen*, *hymenos* = membrana y *pteron* = ala “alas membranosas”. Son el grupo más importante en polinización de angiospermas, pocas especies son plagas y en su mayoría son utilizadas en control biológico. Presentan una metamorfosis completa con un sistema haplodiploide de determinación de sexo, con hembras diploides (huevos fecundados) y machos haploides (huevos no fecundados) producidos por partenogénesis arrenotoca. Se reconocen dos subórdenes: Symphyta (adultos sin cintura y larvas parecidas a orugas de lepidópteros) y Apocrita (adultos con cintura, larvas apodas alimentados por los

adultos o depositados en hospederos donde terminan su desarrollo). Cuerpo relativamente coriáceo (duro), con aparato bucal masticador o masticador-lamador, hembras con oviscapto (ovipositor) bien desarrollado, algunas veces con aguijón (ovipositor modificado) (Zumbado y Azofeifa, 2018; Rafael *et al.*, 2012).



**Figura 3.** Insectos pertenecientes al orden Hymenoptera, suborden Apocrita (a. Halictidae; b. Formicidae) (Fuente: Elaboración propia).

**d) Thysanoptera** Haliday, 1836



**Figura 4.** Insectos pertenecientes al orden Thysanoptera a. suborden Tubulifera (Phlaeothripidae); b. suborden Terebrantia (Thripidae) (Fuente: Elaboración propia).

Del griego *thysanos* = franja y *pteron* = ala, haciendo referencia a la presencia de franjas de cerdas o cilios largos en uno o ambos márgenes de alas. Estos insectos tienen una metamorfosis incompleta, aunque muchas especies presentan un periodo de inactividad (quiescencia) ninfal antes de alcanzar la madurez. Presentan un sistema haplodiploide, con machos que se originan de huevos no fertilizados (partenogénesis arrenotoca), mientras que las hembras se desarrollan a partir de huevos fertilizados; sin embargo, hay hembras diploides que pueden

desarrollarse a partir de huevos no fertilizados por medio de la partenogénesis telítoca, que puede ser obligatoria en especies en las que los machos son raros o están ausentes. Poseen un aparato bucal asimétrico con la mandíbula derecha vestigial, mientras que la mandíbula izquierda y ambas maxilas se encuentran modificadas en forma de estiletes. Alas sin venas y con una banda de pelos a manera de fleco. Se dividen en dos subórdenes: Tubulifera (con una sola familia Phlaeothripidae) y Terebrantia (con ocho familias) (Zumbado y Azofeifa, 2018; Rafael *et al.*, 2012).

**e) Diptera Linnaeus, 1758**

Del griego *di* = dos y *pteron* = alas, haciendo referencia al número de alas funcionales encontradas. Es uno de los grupos más diversos, con 153 mil especies descritas aproximadamente en todo el mundo. Presentan una metamorfosis completa, con larvas apodas de hábitos alimenticios variados como depredadoras (Syrphidae, Cecidomyiidae), parasitoides (Tachinidae, Canopidae) e incluso algunas que se desarrollan en tejidos de animales (Oestridae). Los adultos presentan un aparato bucal de tipo lamedor o chupador, en algunos insectos modificados para perforar; un par de alas de tipo membranoso y un par de halterios o balancines (alas posteriores reducidas que proporcionan equilibrio durante el vuelo), aunque existe algunas especies ápteras (Zumbado y Azofeifa, 2018; Rafael *et al.*, 2012).

- i. Cecidomyiidae:* La mayoría de las especies de esta familia presentan larvas formadoras de agallas, otras son micofagos, algunos se desarrollan en tejido vegetal en descomposición o tejido vegetal vivo como yemas y flores. Los adultos son mosquitos frágiles de 1 a 5 mm de largo, venación generalmente reducida; vena costal continua alrededor del ala; ojos compuestos unidos sobre las antenas; antenas largas (Zumbado y Azofeifa, 2018; McAlpine *et al.*, 1981).



**Figura 5.** Insecto perteneciente al orden Diptera (Cecidomyiidae)  
(Fuente: Elaboración propia).

- ii. *Ceratopogonidae*: Son mosquitas pequeñas de 0,4 a 7 mm de largo aproximadamente. Dentro de esta familia se encuentra hembras de algunas especies hematófagas; algunos se alimentan como parásitos externos de otros insectos. Ocelos ausentes, antenas plumosas en la mayoría de los machos, las con una o dos venas radiales, alcanzando el margen anterior (Zumbado y Azofeifa, 2018; McAlpine *et al*, 1981).



**Figura 6.** Insecto perteneciente al orden Diptera (Ceratopogonidae)  
(Fuente: Elaboración propia)

- iii. *Phoridae*: Moscas pequeñas de 0,5 a 6 mm de largo, reconocidas por el aspecto jorobado del tórax y la venación radial acopladas hacia el margen costal, sin venas transversales. Algunas especies con hembras braquípteras y otras con hembras ápteras. Son considerados como uno de los grupos con biología más variada, encontrados en diferentes ambientes como cuerpos en descomposición, nidos de roedores y aves, flores, hongos, nidos de avispas, hormigas y cavernas (McAlpine *et al*, 1981; Rafael *et al.*, 2012).



**Figura 7.** Insecto perteneciente al orden Diptera (Phoridae)  
(Fuente: Elaboración propia)

- iv. *Chloropidae*: Generalmente encontrados en vegetación baja como hierva y flores de algunas plantas. Tienen una longitud aproximada de 1,5 a 5 mm. Hay especies predadoras o parasitas, algunas son minadoras, otras micofagas o formadoras de agallas (McAlpine *et al.*, 1981; Rafael *et al.*, 2012).
- v. *Ulidiidae*: Larvas de la mayoría de las especies saprófagas, aunque algunas de alimentan de plantas y frutos sanos. Los adultos se alimentan de frutos caídos o secreciones azucaradas de plantas e insectos. Su tamaño varia de 3 a 15 mm; cabeza con tres ocelos; aparato bucal chupador de tipo esponja (Zumbado y Azofeifa, 2018).



**Figura 8.** Insecto perteneciente al orden Diptera (Ulidiidae)  
(Fuente: Elaboración propia)

- vi. *Stratiomyidae*: Mosca de cuerpo robusto de 2 a 25 mm de largo. Las larvas son descomponedores de materia orgánica; los adultos frecuentemente se los encuentra descansando en vegetación o alimentándose de flores. Algunas especies se asemejan a avispas y abejas. Alas con celda discal

pequeña, situada casi al centro del ala (Zumbado y Azofeifa, 2018; McAlpine *et al*, 1981).



**Figura 9.** Insecto perteneciente al orden Diptera (Stratiomyidae)  
(Fuente: Elaboración propia).

### **3.5. Factores que influyen en la abundancia de entomofauna**

La coevolución entre planta e insectos para el proceso de polinización, ha permitido una evolución de flores que generan algún tipo de recompensa floral para los insectos, de modo que ayude en la reproducción de la planta (Fontúrbel, 2010). Esta selección implica una adaptación especializada para ambas partes (Grajales-Conesa *et al.* 2011). Siendo así que, la forma, el color y fragancias atractivas para el insecto, son características florales adaptadas para restringir la presencia de diferentes agentes entomófilos (Ríos, 2015). La arquitectura de la flor del cacao es una clara muestra de esta adaptación, observando así pétalos con una estructura alargada denominada cogulla, el cual encierra a los estambres, impidiendo la fácil distribución del polen al estigma por medio de diferentes insectos que se posan en la flor en busca de nutrientes que este les proporciona (Ríos, 2015; Ramos, 2011).

Además de las características morfológicas que presenta la flor para restringir visitantes a la misma, también existen diferentes factores como la dinámica de las poblaciones de entomofauna en relación a la estructura de la vegetación, e incluso la competencia entre el cultivo y otras plantas a través de la atracción ya sea visual o sensitiva (Chacoff, 2006).

Así mismo, se presenta factores ambientales, como es el caso de la influencia de este hacia la abundancia de dípteros asociados a la polinización, ya que existe una relación directa de la precipitación, temperatura y la humedad relativa con las condiciones que requieren estos insectos para completar el desarrollo de su metamorfosis (Soria, 1979; Ríos, 2015; Bravo *et al.* 2010; Besemer, 1978, citado por Ramos, 2011).

Otro de los factores que podría influenciar en la presencia de entomofauna en el cultivo son las prácticas de labores culturales, donde Córdoba *et al.* (2013) encontró una relación negativa de la densidad de plantas del dosel con la abundancia de insectos presentes. IICA (2008), menciona que la cantidad de luz que recibe la planta es regulada comúnmente por arboles de sombra, que además regula la temperatura, siendo que los primeros estadios de crecimiento el cacao requiere de sombra relativamente densa con una luz total entre el 25 % y 50%; Y cuando la planta alcanza su mayor desarrollo esta reduce su necesidad de sombra, dejando pasar un 70 % de luz. Así también Bravo *et al.* (2010) menciona que la presencia de musáceas en descomposición favorece en el desarrollo del ciclo biológico de dípteros, como desfavorece el hecho de tener un suelo desnudo y la presencia de enemigos naturales como dermápteros (tijeretas), hymenopteros (hormigas).

### **3.6. Medidas de diversidad**

Según la Convención sobre Diversidad Biológica, la biodiversidad se define como “la variabilidad entre los organismos vivos de todas las fuentes, incluyendo, entre otros, los organismos terrestres, marinos y de otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas” (UNEP, 1992).

Por mucho tiempo, la variación de diversidad ha sido un tema central para diferentes ecólogos que buscaron la manera de cuantificar esta diversidad para conocerla y gestionar mejor el territorio (Moreno, 2001; Scheiner *et al.*, 2011). En 1960 Whittaker propuso los términos de diversidad alfa (diversidad dentro de comunidades que integran una región), diversidad beta (diversidad entre comunidades) y diversidad gamma (diversidad regional), con el fin de estimar la diversidad a diferentes escalas de paisaje o región.

Esta forma de analizar la biodiversidad resulta muy conveniente, ya que para monitorear el efecto de los cambios en el ambiente es necesario contar con información de la diversidad biológica en comunidades naturales y modificadas (diversidad alfa) y también de la tasa de cambio en la biodiversidad entre distintas comunidades (diversidad beta), para conocer su contribución al nivel regional (diversidad gamma) (Moreno, 2001).

### 3.6.1. Medición de la diversidad alfa

Según Moreno, (2001) existen diferentes métodos para evaluar la diversidad de especies, los cuales se dividen en dos grupos grandes:

- a) Métodos basados en cuantificación del número de especies presentes en la comunidad (Riqueza, sin tomar en cuenta el valor de la importancia de las mismas).
- b) Métodos basados en la estructura de la comunidad (abundancia o número de individuos, su biomasa, cobertura, productividad, etc.). Estos pueden clasificarse a su vez según estén basados en la dominancia o la equidad de la comunidad.

Donde Magurran 1988, citado por Moreno, (2001) Menciona que es conveniente presentar valores tanto de métodos basados en cuantificación (Riqueza), como de métodos basados en la estructura de la comunidad (dominancia o equitatividad), de modo que ambos métodos sean complementarios en la descripción de la diversidad. Ya que, medir la abundancia relativa de cada especie permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales.

Por otro lado, Ferriol y Merle (s.f.) mencionan que cuanto mayor sea la uniformidad de la comunidad, las distintas especies aparecerán de forma más equilibrada en cuanto a su proporción. Una comunidad será más diversa si, además de poseer un alto número de especies, posee además una alta uniformidad.

Es así que para este estudio se seleccionó dos índices comúnmente usados dentro de la diversidad alfa, uno basado en el método de estructura de la comunidad (Índice de uniformidad de Pielou) y el otro basado en métodos de cuantificación como es el índice inverso de Simpson.

#### 3.6.1.1. Índice de uniformidad (índice de Pielou)

$$J = (H') / \ln S$$

Donde,  $H'$  es el índice de Shannon-Wiener y " $\ln S$ " es la diversidad máxima ( $H'_{\max}$ ).

Este índice mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001).

### 3.6.1.2. Índice de Simpson inverso

$$C_{inv} = 1 / \sum_{i=1}^S P_i^2$$

Donde,  $P_i = n/N$ ; “n” es el número de individuos de la especie  $i$  y “N” es el número total de individuos para todas las  $S$  especies en la comunidad.

Este índice manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados de una muestra al azar pertenezcan a diferentes especies. Además, este índice reduce el efecto del submuestreo de especies y, por tanto, permite una mejor comparación entre comunidades con alta dominancia de unas pocas especies (Equipo editorial, 2020; Lozano-Peña *et al.* 2019).

### 3.6.2. Medición de la diversidad beta

La medición de esta diversidad se basa en proporciones o diferencias. Dichas proporciones pueden evaluarse en base a índices o coeficientes de similitud o de distancia entre las muestras a partir de datos cualitativos (presencia – ausencia de especies) o cuantitativos (abundancia o número de individuos, biomasa, densidad, cobertura, etc.) (Magurran, 1988; Wilson y Shmida, 1984, citados por Moreno, 2001).

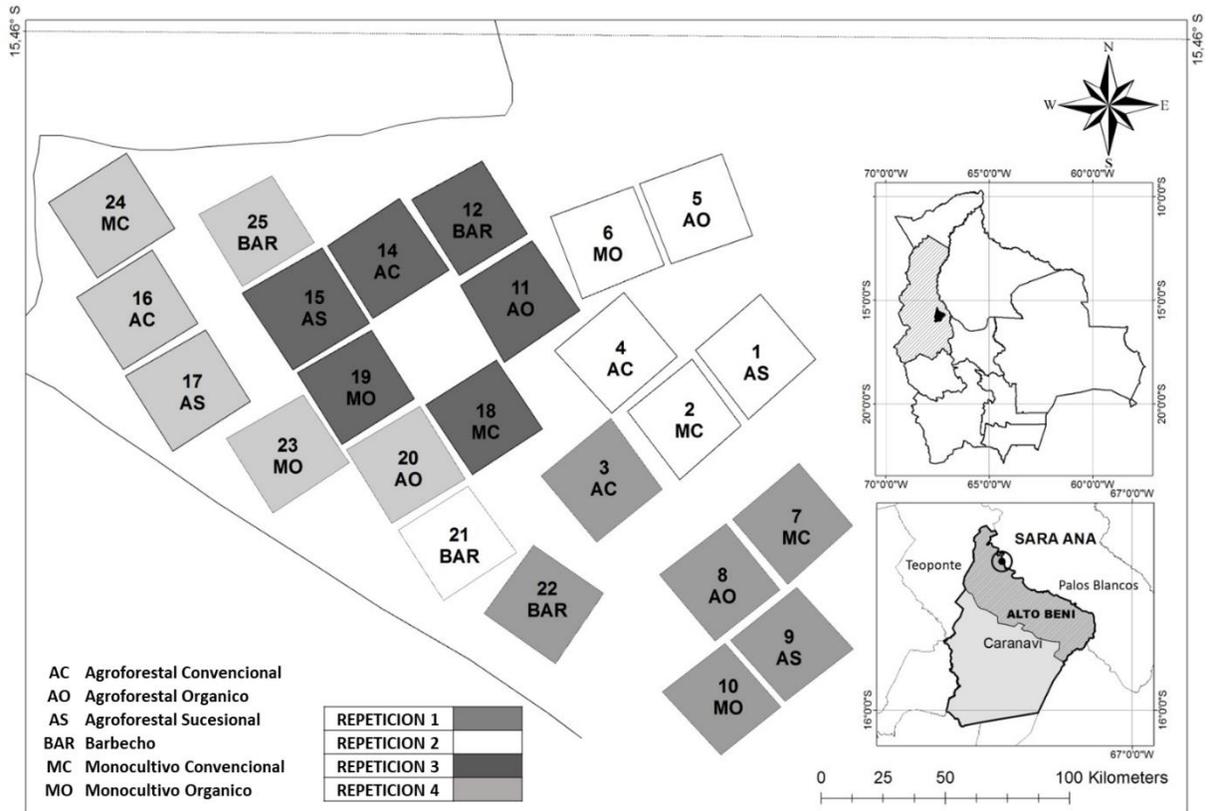
#### 3.6.2.1. Índice de similitud temporal Morisita-Horn

$$C_{MH} = \frac{2\sum(an_i x b_n_j)}{(da+db)aNxbN}$$

Donde, “aN” es el número total de individuos en el sitio A; “bN” es el número total de individuos en el sitio B; “ $a_n_i$ ” número de individuos de la  $i$ -ésima especie del sitio A; “ $b_n_j$ ” es el número de individuos de la  $j$ -ésima especie del sitio B; “da” =  $\sum a_n_i^2 / aN_a^2$ ; “db” =  $\sum b_n_j^2 / bN_b^2$

Este índice es calculado en base a datos cualitativos, donde la riqueza y tamaño de las muestras afectan al cálculo de este índice. Su valor se encuentra distribuido entre 0 cuando no existe ninguna especie compartida entre comunidades y 1 cuando todas las especies están compartidas entre todas las comunidades (Magurran, 1988, citado por Moreno, 2001).

## 4. LOCALIZACION



**Figura 10.** Ubicación geográfica del ensayo de “Comparación de sistemas de producción de cacao a largo plazo”.

(Fuente: Elaboración propia)

El presente estudio se llevó a cabo en el centro experimental de comparación de sistemas de producción de cacao a largo plazo de la finca Sara Ana, ubicada en el cantón de San Juan de Suapi, en el municipio Alto Beni, provincia de Caranavi del departamento de La Paz (-15°27'36"S, -67°28'17"O, 400 m) (Lohse, 2018, Zegada *et al*, 2020).

### 4.1. AREA DE ESTUDIO

El centro de investigación de Sara Ana, cuenta con aproximadamente cinco hectáreas de parcelas investigativas, donde compara en cuatro repeticiones cinco sistemas de producción de cacao y cuatro parcelas de barbecho (Figura 10). Cada parcela cuenta con una superficie de 2,304 m<sup>2</sup> (48 x 48 m), donde al centro de cada parcela existe un área de 24 x 24 m (área de investigación), para la toma de datos con el fin de reducir el efecto de borde (Herren, 2015; Lohse, 2018). Estas parcelas fueron instaladas en un terreno de barbecho de 20 años de edad, donde el cacao se estableció a finales de 2008 (FIBL, 2013).

## **4.2. Clima**

El clima se caracteriza por ser cálido y lluvioso la mayor parte del año, con temperaturas que varían entre los 15 °C hasta 27 °C con temperatura máxima promedio de 37 °C y un promedio mínimo de 10 °C (Lohse, 2018; Picucci, 2020). Presenta una precipitación promedio anual de 1500 mm y una temperatura media anual de 25°C (SENAMHI 2019, citado por Zegada *et al*, 2020).

## **4.3. Vegetación**

La región se caracteriza por tener una vegetación catalogada como bosque siempre verde muy alto (30 a 40 metros), denso y bien estratificado, es una región que posee gran diversidad de especies forestales como: cedro (*Cedrela odorata*), ceibo (*Erythrina spp.*), mara (*Swietenia macrophylla*), nogal (*Junglans spp.*), quina quina (*Myroxylon balsamum*), pino (*Pinus spp.*), roble (*Quercus spp.*), chima (*Bactris spp.*), entre otros. (Velásquez, 2016, citado por Loshe, 2018).

# **5. MATERIALES Y METODOS**

## **5.1. Materiales de estudio**

### **5.1.1. Materiales de campo**

Recipientes de 15 cm de diámetro y 5 cm de profundidad, pintura a thinner color blanco y azul, alambre galvanizado #16 y cuerda 1/8 para colgar las trampas, agua, detergente neutro, tamizador de tela fina, frascos de 100 ml para transportar muestras al laboratorio, alcohol al 70 %, cinta masking, papel cebolla, pinceles de punta fina, pinzas suaves de punta, lápiz y/o rotulador indeleble.

### **5.1.2. Materiales de laboratorio**

Esteriomicroscopio, lámpara de escritorio, cajas petri, pinceles de punta fina, pinzas suaves de punta, frascos eppendorf, rotulador indeleble, lápiz, papel cebolla y material de apoyo para la identificación.

## **5.2. Método de estudio**

### **5.2.1. Diseño de estudio**

El diseño que se utilizó fue un diseño multifactorial. Donde los diferentes arboles de estudio fueron considerados como submuestras y para controlar esta variación se utilizó un factor aleatorio.

a) **Unidad experimental:** Cada parcela de estudio

b) **Variables dependientes o variables de respuesta**

- Abundancia de entomofauna a nivel de orden y familia (Diptera)
- Riqueza de entomofauna a nivel de orden y familia (Diptera)
- Índice de diversidad de entomofauna a nivel de orden y familia (Diptera)

c) **Variables independientes**

- Sistema de estudio
- Cobertura del dosel (% hojarasca, %herbáceas, %suelo desnudo, %frutos en descomposición y % flores abiertas)
- Índice de iluminación de copa
- Especies acompañantes
- Temperatura y humedad del ambiente

### 5.2.2. Determinación de las variedades de estudio

Dentro de cada sub parcela (24 x 24 m), se encuentran asignadas doce variedades de cacao (Tabla 1; Figura 11) distribuidas de manera aleatoria, con una densidad de siembra de 4 x 4 m (FIBL, 2013).

**Tabla 1.** Variedades de cacao presentes en el centro de investigación de Sara Ana (*Marcado en color naranja y celeste las variedades utilizadas para este estudio*).

CLON	HIBRIDO	LOCAL	LEYENDA
ICS 6	ICS 95 x IMC 67	III 13	Imperial College selection (ICS)
ICS 1	ICS 6 x IMC 67	Ila58	Trinidad Selection Hybrid (TSH)
TSH 565	TSH 565 x IMC 67	III 6	Iquitos Mixed Collection IMC
ICS 95	ICS 1 x IMC 67	Ila22	Area de seleccion (III y Ila)

(Fuente: Elaboración propia, basado en el texto de Picucci (2020))

Para este estudio se optó por dos variedades de cacao, una variedad local Ila22 seleccionada por el alto porcentaje de intensidad de floración obtenido por Picucci (2020) del promedio de los años 2015 – 2019 a comparación de las otras variedades locales, además del rendimiento y la tolerancia a enfermedades. Y siguiendo el mismo criterio de selección que la variedad local, se optó por la variedad foránea TSH-565.

El registro de datos se realizó en tres arboles de cacao por cada variedad de estudio, respetando el área de subparcela para evitar el efecto de borde (Figura 11), teniendo un total de seis arboles por parcela y 432 árboles o puntos de muestreo para todo el estudio.

95	III 06	95x67	565	III 13	565x67	1	Ila 22	1x67	6	Ila 58	6x67
1	Ila 22	1x67	6	Ila 58	6x67	95	III 06	95x67	565	III 13	565x67
95	III 06	95x67	R7 TSH 565	R8 III 13	R9 565x67	R10 ICS 1	R11 Ila 22	R12 1x67	6	Ila 58	6x67
1	Ila 22	1x67	31 565x67	32 Ila 58	33 565x67	34 Ila 22	35 95x67	36 ICS 6	565	III 13	565x67
95	III 06	95x67	30 Ila 58	29 TSH 565	28 ICS 1	27 ICS 6	26 565x67	25 ICS 1	6	Ila 58	6x67
1	Ila 22	1x67	19 1x67	20 95x67	21 III 13	22 ICS 95	23 ICS 95	24 TSH 565	565 Crecimie	III 13	565x67
95	III 06	95x67	18 95x67	17 ICS 6	16 1x67	15 TSH 565	14 Ila 58	13 III 06	6	Ila 58	6x67
1	Ila 22	1x67	7 ICS 95	8 6x67	9 III 13	10 Ila 22	11 6x67	12 III 06	565	III 13	565x67
95	III 06	95x67	6 III 13	5 ICS 1	4 III 06	3 1x67	2 6x67	1 Ila 22	6	Ila 58	6x67
1	Ila 22	1x67	R6 ICS 6	R5 Ila 58	R4 6x67	R3 ICS 95	R2 III 06	R1 95x67	565	III 13	565x67
95	III 06	95x67	565	III 13	565x67	1	Ila 22	1x67	6	Ila 58	6x67
1	Ila 22	1x67	6	Ila 58	6x67	95	III 06	95x67	565	III 13	565x67

**Figura 11.** Ejemplo de la distribución de Variedades de Estudio

Nota. Parcela 11 (Sistema Agroforestal Orgánico), Repetición 3 (Fuente: Base de datos Sara Ana)

### 5.2.3. Colecta de muestras

La colecta se realizó entre los meses de octubre y noviembre en fechas 30, 31, 01, 02, 03 y 04 del año 2021, donde las trampas permanecieron activas de manera constante.

La captura de entomofauna presente, se realizó con el método de muestreo pan traps, ya que, según la FAO, (2020), este es uno de los métodos ampliamente utilizados y efectivos para monitorear insectos voladores. Esto debido a que ciertos colores resultan ser atractivos para distintos grupos de insectos (Bravo *et al.* 2020) y más aún cuando se combinan entre algunos colores debido a que los insectos tienen la capacidad de detectar diferentes longitudes de onda de luz (Mena-Mociño, *et al.* 2016).

Es así que para este estudio se utilizó los pan traps azul, amarillo y blanco, dado que, en estudios previos, estos colores demostraron ser efectivos para la atracción de diferentes insectos (Nuttman *et al.*, 2011; Théodore, 2012; MMAyA, 2020).

La instalación de los pan traps se realizó alrededor del dosel de cada árbol de cacao seleccionado para este estudio, situándolas a una altura de 1,50 metros sobre la superficie del suelo y vertiendo 250 ml de una solución agua-detergente a cada una como agente tensioactivo.

Del mismo modo, con el fin de obtener un control de comparación y observar la diversidad de entomofauna presente en el crecimiento secundario, se situó los pan traps en parcelas de barbecho, seleccionando seis puntos de muestreo aleatoriamente distribuidas dentro de las sub parcelas. Teniendo un total de 18 trampas por parcela y 432 trampas para todo el estudio.

Los individuos capturados en cada trampa, fueron trasladados de las parcelas al laboratorio del centro de investigación de Sara Ana en frascos con sus respectivas etiquetas. Para luego ser cambiadas de la solución agua-detergente a una solución de alcohol al 70 % y de este modo evitar su rápido deterioro.

#### **5.2.4. Registro de variables ambientales**

Considerando que cada sistema de producción podría ofrecer un micro hábitat determinado, generando una oferta de recursos distinta para los diferentes grupos de artrópodos que visitan las flores de cacao (Bravo *et al.* 2010, Córdoba *et al.* 2013) se registró algunas variables ambientales, como:

- ✓ Cobertura de la copa del árbol: Para observar la posible existencia de una competencia floral o de otra índole que pudo influenciar en la diversidad de entomofauna. Se realizó el registro de las especies arbóreas y arbustivas acompañantes al árbol de estudio, con el método punto centro cuadrado (Mostacedo, 2000), utilizado como punto central cada árbol de cacao seleccionado para el estudio, trazando dos líneas imaginarias de manera perpendicular para formar cuatro cuadrantes con ángulos de 90°, en cada cuadrante se ubicó el árbol y arbusto más cercano al punto central, donde se registró la distancia y la especie, respectivamente.
- ✓ Cobertura del dosel: En referencia a la proporción del suelo cubierto por la proyección vertical de la copa del árbol, se registró en porcentajes la presencia de: hojarasca (HO), suelo desnudo (SD), herbáceas (He), frutos abiertos (FA) y frutos en descomposición (FD). Para conocer el posible efecto de la presencia y/o ausencia de estos componentes en la abundancia, riqueza y diversidad de entomofauna.
- ✓ Índice de Iluminación de Copa (IIC): Utilizando la propuesta de Dawkins (1958), (citado por Jennings *et al.*, 1999) se registró el índice de iluminación de copa que presentó cada árbol de estudio al momento del muestreo. Para conocer la influencia del mismo sobre la abundancia, riqueza y diversidad de entomofauna. Clasificando en tres categorías (Categoría 1: copa del árbol no iluminada directamente vertical o lateralmente; Categoría

2: copa del árbol iluminada lateralmente; Categoría 3: Copa del árbol con iluminación vertical directa).

- ✓ Temperatura y humedad del ambiente: Estas variables fueron registradas en un rango de hora de 10:00 a 12:30, con la ayuda del datalogger PASCOS SPARK LXi (PS-3600A). Donde por cada árbol de estudio tomó un tiempo de 30 segundos, logrando cubrir las 24 parcelas en dos días.
- ✓ Presencia de flores abiertas y cerradas: Se realizó el cálculo del porcentaje de flores abiertas y cerradas en una rama del árbol de estudio para luego multiplicar por el número de ramas presentes en el mismo, utilizando los mismos rangos de muestreo que Zegada, *et al.* (2020), cubriendo un área vertical de 100 cm, a partir de 50 cm sobre la superficie del suelo.

### **5.2.5. Identificación**

Una vez hecho el traslado de los 432 frascos de muestras a la ciudad de La Paz, la identificación taxonómica, se realizó en el Laboratorio Boliviano de Biotología y Desarrollo (BIOSBO), separando los individuos a nivel de orden con ayuda de claves taxonómicas (Rafael *et al.*, 2012), bajo el asesoramiento del biólogo entomólogo Jaime Iván Rodríguez Fernández (director BIOSBO).

En vista de que algunos individuos del orden Lepidóptera tuvieron una descomposición rápida bajo la solución agua-detergente, se descartó el conteo de estos insectos dentro de la identificación.

Por último, se realizó la identificación del orden Díptera a nivel de familia, con la ayuda del director de BIOSBO y bibliografía consultada (McAlpine *et al.* 1981; McAlpine *et al.* 1987; Rafael *et al.*, 2012)

## **5.3. Procedimiento experimental**

### **5.3.1. Análisis estadístico**

Se registró a nivel taxonómico de orden y familia (para el orden Díptera), la abundancia, riqueza, el índice de diversidad de Simpson inverso y la equitatividad de Pielou, para cada sistema de producción de cacao y barbecho.

Para evaluar la completitud de las muestras se realizó un análisis de rarefacción en base a extrapolaciones con cálculos de número de taxones observados y esperados, utilizando estimadores no paramétricos (1000 iteraciones al 95% de confianza), manipulando el programa EstimateS 9.1.0. Estos estimadores se basan principalmente en el número de especies de un muestreo que solo están representadas por uno o dos individuos, o que solo se registraron en una o dos muestras, lo que se basa en el supuesto de que en la naturaleza no existen individuos solos, sino poblaciones; es así que si se presenta este evento es indicador de que no se ha registrado un número suficiente de individuos o realizado suficientes repeticiones (Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt, sf).

Para comparar el rango de distribución de las abundancias de órdenes y familias identificadas entre los seis sistemas de estudio, se realizó gráficos de rango-abundancia.

Para el análisis de composición de la comunidad de entomofauna presente en los diferentes sistemas de producción, se calculó el índice de similitud temporal de Morisita-Horn con el programa estadístico Past 4.11 y para conocer la agrupación entre sistemas, se realizó un dendrograma en el mismo software, utilizando el método Unweighted Pair Group Method Arithmetic mean (UPGMA).

La relación de la composición de entomofauna con las diferentes variables independientes se realizó mediante un modelo lineal de efectos mixtos en el software R Studio, donde se tomó como factor aleatorio a la parcela, considerando que esta pueda explicar la variación de las variables de respuesta (abundancia, riqueza e índice diversidad) ya sea por algún efecto que pudo tener el hecho de que algunas parcelas se encontraron cerca de un bosque secundario o porque la distancia entre las mismas fue corta. Para evitar la dificultad del modelo no se consideró la influencia de la variedad de cacao, ya que en el sistema de barbecho no existe plantaciones de cacao y/o variedades del mismo.

Antes de realizar el modelo estadístico, se realizó un análisis de correlación de las diferentes variables ambientales, lo que permitió considerar al Índice de Iluminación de Copa (IIC), humedad relativa del ambiente (HUM), % flores abiertas (FLA), % hojarasca (HO), % herbáceas (HE) y % frutos en descomposición (FD). Pero no así a la temperatura del ambiente (TEM) ya que presentó una correlación negativa (-0,9811) con respecto a la humedad; así también se descartó el % flores cerradas (FLC) (0,6243) y % suelo desnudo (SD) (-0,9217) porque

ambos mostraron correlación con respecto al % HO. Del mismo modo no se consideró al % frutos abiertos (FA) porque no se registró algún dato de esta variable en el trabajo de campo.

Para obtener el modelo más simple se realizó combinaciones predictoras con el comando “dredge”, lo que permitió notar cierta influencia del sistema con el índice de diversidad y la abundancia del cacao, es así que se realizó un ANOVA y una prueba Post-hoc de Tukey para estas dos variables de respuesta en relación a los diferentes sistemas de estudio.

La relación de las especies acompañantes tanto arbustivas como arbóreas con las diferentes variables de respuesta, ya sea a nivel de orden y/o familia (Díptera), se evaluó igualmente con un modelo lineal de efectos mixtos en el software R Studio, considerando las distancias registradas para cada una, en relación al árbol de cacao estudiado. Antes de realizar el modelo se descartó especies acompañantes con menos de tres registros y posteriormente se realizó un análisis de correlación de variables.

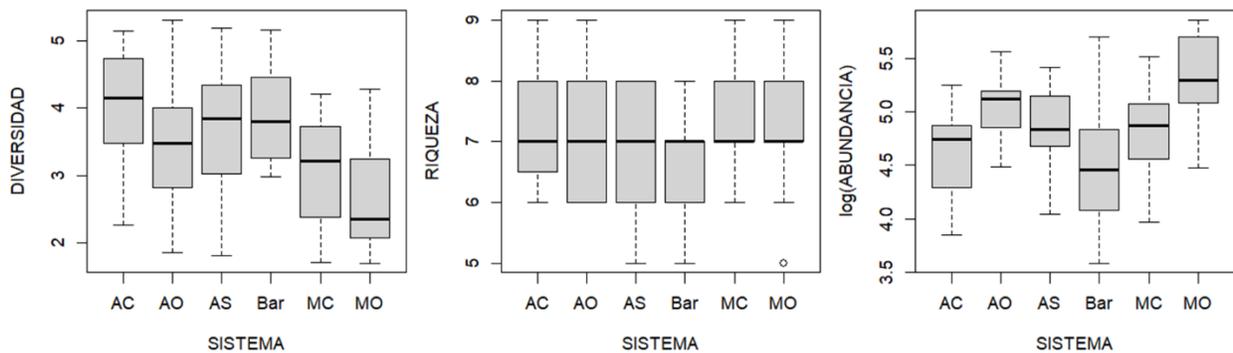
Para algunas variables dependientes (diversidad, abundancia y riqueza a nivel de familia de dípteros) donde ninguna de las variables ambientales y especies acompañantes explicaron la variación de medias, se comparó el mejor modelo obtenido por el comando “dredge” con un modelo nulo a través de una prueba de razón de verisimilitud (LRT).

La validación de supuestos se comprobó mediante graficas de residuos. Y para cualquier divergencia de los residuos se realizó las transformaciones correspondientes de las variables.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1. Descripción de la comunidad de entomofauna

En general, se registró un total de 46904 individuos, sin embargo, para los análisis estadísticos se trabajó con 20768 insectos pertenecientes a 14 órdenes. Descartando individuos de la familia Formicidae, ya que para algunos sistemas de estudio estos insectos mostraron una abundancia relativa alta, como es el caso de Barbecho que supera el 80 % de la población del sistema (Anexo 1).



**Figura 12.** Gráfico de cajas y bigotes para la distribución del índice de diversidad, riqueza y abundancia de entomofauna en relación al sistema de estudio.

En ese sentido, los resultados de este estudio demuestran que el sistema de producción afecta a la diversidad y abundancia de entomofauna a nivel de orden (Figura 12 y Tabla 3). Lo que fortalece el concepto de que las diferentes prácticas agrícolas influyen sobre los ecosistemas y por consiguiente a la biota del lugar (Landeros-Sánchez *et al*, 2011). Las pruebas post hoc (Tabla 4) para ambas variables de respuesta (diversidad y abundancia), indicaron cierta diferencia de la diversidad y abundancia de Monocultivo Orgánico con el sistema Agroforestal Convencional y Barbecho respectivamente. Encontrando una diversidad alta ( $C_{inv} = 4$ ) en Agroforestal Convencional (AC) y una mínima en el Monocultivo Orgánico (Tabla 5), pese a que se registró una mayor abundancia en este sistema con 5321 individuos capturados (Tabla 2), lo cual pudo ser ocasionada por la alta dominancia de Hemípteros que representa el 61,4% de la población total para este sistema (Tabla 2), siendo representado mejor en la gráfica de rango-abundancia (Figura 13).

Estos resultados se ven respaldados por la hipótesis de perturbación intermedia, descrita por el ecólogo Connell (1978), quien sugiere que, en ecosistemas maduros, la presencia de perturbaciones intermedias (en este caso parcelas agroforestales) permite mantener niveles de

biodiversidad mayores, comparadas con sitios donde no se producen perturbaciones (como es el caso de las parcelas de barbecho) o donde la perturbación del lugar es muy frecuente (parcelas de Monocultivos). Siendo que al existir una perturbación frecuente la comunidad biológica consistirá solo de aquellas especies resistentes, convirtiéndose estas en especies que acaparan los recursos disponibles del lugar. En relación es necesario notar que en ambos sistemas de monocultivo (convencional y orgánico) se observa que el orden Hemiptera se encuentra presente en más del 50% de la población total de los mismos, equivalente a lo encontrado por Adjaloo (2013) en Ghana, quien sugiere que este orden prospera mejor en cultivos intensivos. Afirmando que las parcelas de monocultivo tienden a incrementar una plaga del cultivo, ya que los enemigos naturales suelen requerir hospedantes alternos para reproducirse. (Davidson y Lyon, 1992 citado por Loya-Ramírez *et al.*, 2003).

**Tabla 2.** Abundancias absoluta (n) y relativa (%) de los diferentes ordenes registrados en cada sistema de estudio (SA: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional, BAR: Barbecho) descartando la presencia de hormigas registradas (Formicidae).

ORDEN	AC		AO		AS		BAR		MC		MO		TOTAL	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Hemiptera	1073	40,85	1899	48,78	1405	43,11	267	10,79	1693	53,11	3267	61,40	9604	46,255
Diptera	609	23,18	747	19,19	737	22,61	933	37,70	620	19,45	749	14,08	4395	21,167
Hymenoptera	357	13,59	434	11,15	386	11,84	482	19,47	300	9,41	454	8,53	2413	11,622
Coleoptera	292	11,12	393	10,10	360	11,05	612	24,73	280	8,78	422	7,93	2359	11,362
Thysanoptera	173	6,59	273	7,01	278	8,53	101	4,08	170	5,33	304	5,71	1299	6,256
Psocoptera	82	3,12	96	2,47	42	1,29	16	0,65	57	1,79	70	1,32	363	1,748
Orthoptera	23	0,88	34	0,87	26	0,80	9	0,36	38	1,19	29	0,55	159	0,766
Blattodea	14	0,53	12	0,31	21	0,64	53	2,14	28	0,88	19	0,36	147	0,708
Ephemeroptera	3	0,11	1	0,03	1	0,03					1	0,02	6	0,029
Neuroptera	1	0,04	4	0,10	2	0,06			1	0,03	3	0,06	11	0,053
Embioptera							1	0,04	1	0,03	1	0,02	3	0,014
Mantodea											2	0,04	2	0,010
Dermaptera					1	0,03							1	0,005
Phasmatodea							1	0,04					1	0,005
<b>SUMA TOTAL</b>	<b>2627</b>	<b>100</b>	<b>3893</b>	<b>100</b>	<b>3259</b>	<b>100</b>	<b>2475</b>	<b>100</b>	<b>3188</b>	<b>100</b>	<b>5321</b>	<b>100</b>	<b>20763</b>	<b>100</b>

**Tabla 3.** Prueba ANOVA de las variables dependientes, abundancia e índices diversidad de entomofauna voladora a nivel de orden con el sistema de producción. (Resultados significativos  $P < 0,05$  resaltados).

VARIABLES DEPENDIENTES	FACTOR	Chi cuadrado	Grados de libertad	valor de P
DIVERSIDAD	Sistema	15,663	5,00	<0,05
ABUNDANCIA	Sistema	23,178	5,00	<0,05

**Tabla 4.** Resultado del análisis post-hoc de Tukey comparando el índice de diversidad y la abundancia, de entomofauna voladora a nivel de orden con los diferentes sistemas de estudio (Resultados significativos  $P < 0,05$  resaltados en color rojo).

Variable	Sistema	MO	Bar	AC	AO	AS	MC
DIVERSIDAD	MO	1	0,0612	<b>0,0394</b>	0,3916	0,1996	0,8756
	Bar		1	0,9999	0,876	0,9852	0,3921
	AC			1	0,7703	0,9481	0,2852
	AO				1	0,9974	0,9469
	AS					1	0,7676
	MC						1
ABUNDANCIA	MO	1	<b>0,0066</b>	<b>0,0106</b>	0,3368	0,0691	0,0565
	Bar		1	0,9999	0,3439	0,856	0,8975
	AC			1	0,4614	0,9353	0,96
	AO				1	0,9345	0,9016
	AS					1	1
	MC						1

**Tabla 5.** Abundancia, riqueza, índice de diversidad de Simpson y equitatividad de Pielou de la entomofauna registrada a nivel de orden en los diferentes sistemas de estudio.

SISTEMA		Total individuos capturados (n)	Riqueza observada (S)	Abundancia promedio	Riqueza promedio	Índice de diversidad promedio	Equitatividad de Pielou Promedio
TOTAL	AC	2627	10	109,46 ± 41,35	7 ± 0,78	4 ± 0,9	0,8 ± 0,08
	AO	3893	10	162,21 ± 42,18	7,25 ± 0,99	3,44 ± 0,91	0,74 ± 0,09
	AS	3259	11	135,79 ± 43,92	7,04 ± 0,91	3,63 ± 0,96	0,76 ± 0,11
	Bar	2475	10	103,13 ± 61,67	6,38 ± 0,88	3,9 ± 0,72	0,82 ± 0,07
	MC	3188	10	132,83 ± 47,4	7,21 ± 0,72	3,07 ± 0,79	0,71 ± 0,1
	MO	5321	12	221,71 ± 79,61	7,29 ± 0,86	2,61 ± 0,72	0,64 ± 0,11

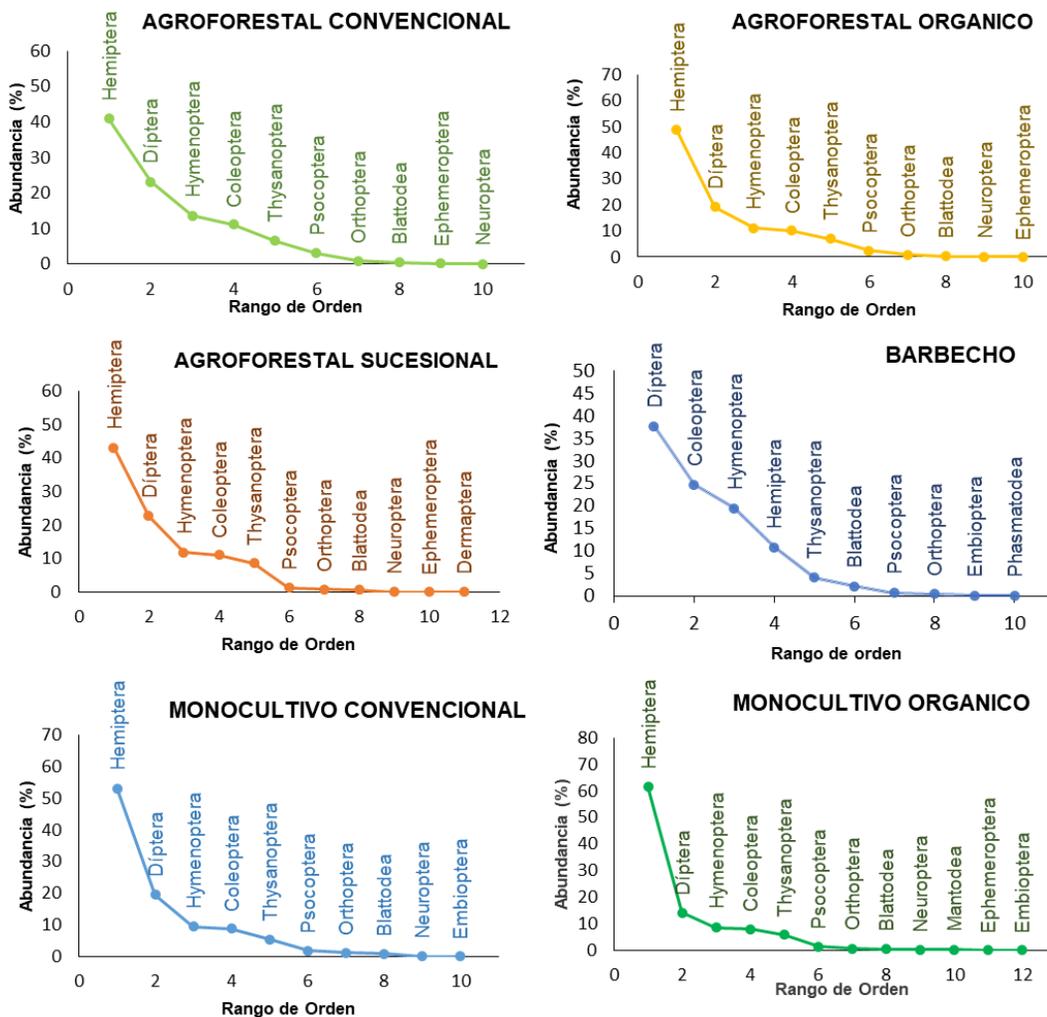
En cuanto al porcentaje de los diferentes taxones registrados, la mayor frecuencia de individuos se distribuye entre los órdenes Hemíptera (46,25%), Díptera (21,16%), Hymenoptera (11,62%) y Coleóptera (11,36%) (Tabla 2), similar a lo que reporta Vásquez (2020) en sistemas agroforestales de *T. cacao* en Ecuador, aunque en proporciones diferentes. En este estudio, solo en Barbecho se registró Coleóptera como el segundo orden más importante, esto posiblemente se deba a que al igual que otros grupos, estos insectos tienden a ser vulnerables a las prácticas agrícolas por la perturbación de su hábitat (Sánchez-Bayo, 2019). Encontrando estos insectos en menor abundancia en parcelas con manejo convencional comparadas con parcelas de manejo orgánico (Tabla 2), muy similar a las tendencias registradas por Poveda, (2017) en Colombia.

Las curvas rango-abundancia (Figura 13) de los seis sistemas muestran la existencia de dominancia por tres o cuatro ordenes (Hemíptera, Hymenoptera, Díptera y Coleoptera). Siendo que, en los sistemas agroforestales (convencional, orgánico y sucesional) y monocultivos (convencional y orgánico) el orden más dominante es Hemíptera, seguido de los órdenes Díptera e Hymenoptera, pero no así en Barbecho, donde la curva para este sistema refleja una dominancia ejercida por cuatro grupos, estando Díptera como el orden más dominante, seguido de Coleóptera, Hymenoptera y Hemíptera.

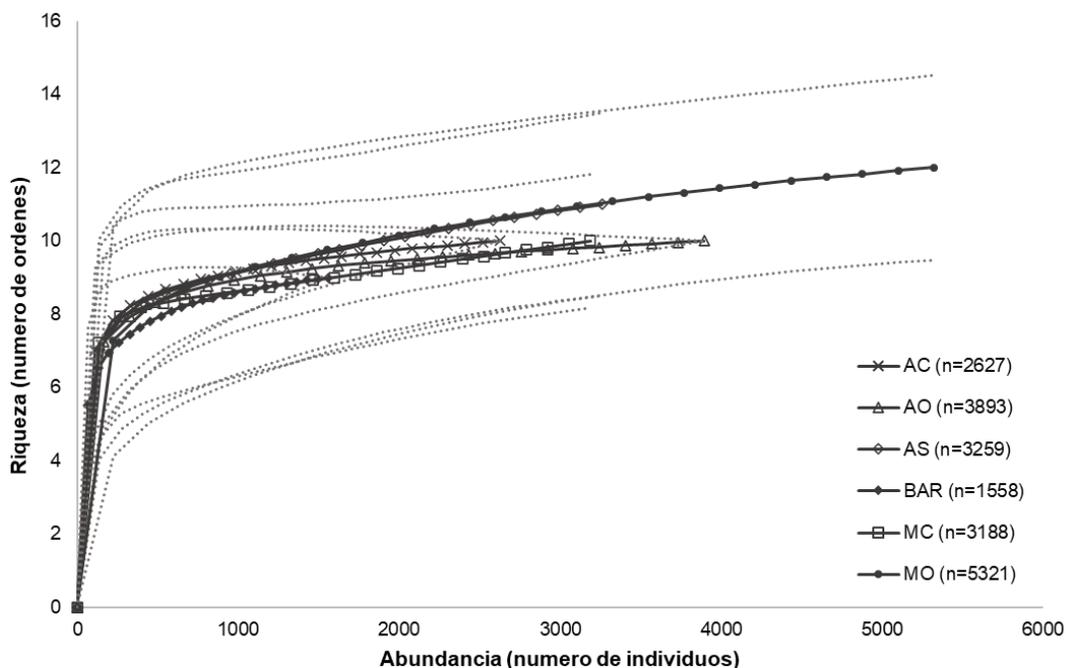
Así también, se observa la presencia de un gran grupo con abundancias muy bajas u ordenes raros en todos los sistemas (Psocoptera, Orthoptera, Blattodea, Ephemeroptera, Neuroptera, Dermaptera, Phasmatodea y Embioptera). Lo cual podría deberse a la variabilidad en los requerimientos de cada grupo para llevar a cabo su desarrollo en el ciclo de vida, como es el caso de Ephemeropteras encontradas en parcelas agroforestales (convencional, orgánico y sucesional) y monocultivo orgánico, ya que estos insectos son exclusivamente acuáticos, teniendo estadios voladores de sub imago e imago (Flowers, 2010), sugiriendo así, que estos individuos cayeron en las trampas de manera accidental al igual que Embioptera (barbecho, monocultivo convencional y orgánico), los cuales generalmente son encontrados en galerías de seda en el suelo, debajo de piedras o también en cortezas de árboles (Torralba-Burrial, 2015).

En el caso de psocóptera, se observa que su abundancia en parcelas agroforestales (convencional y orgánico) y monocultivos (convencional y orgánico) es mayor en comparación a parcelas de agroforestal sucesional y barbechos, confirmando lo mencionado por Alexander *et al*, (2015), donde estos insectos prefieren ambientes con grupos de árboles aislados, es decir poco densos, además de espacios soleados y secos. Muy diferente a los Blattodea que prefieren espacios húmedos y densos explicando así la alta abundancia de estos en las parcelas de Barbecho (Pascual, 2015). Al igual que a estos insectos, la formación de diferentes ecosistemas con microclimas variados por las prácticas agrícolas, también afecta los ortóptera, ya que se sabe que estos insectos ovopositan en el suelo o cerca de ella, lo que puede hacerlos vulnerables a la perturbación del suelo (Marshall y Heas, 1988; Wilson *et al.*, 1999). Aunque su baja presencia en los diferentes sistemas podría deberse a la altura en la que se encontraban las trampas (1,5 metros), haciendo que estos insectos lleguen de manera accidental a los pan traps.

Las curvas de rarefacción de riqueza (número de órdenes encontrados), en relación al número de individuos (abundancia), no alcanzaron una asíntota para ningún sistema, aunque el sistema agroforestal orgánico se encuentra muy cerca de la asíntota. Por otro lado, el traslape de los intervalos de confianza sugiere que no existe diferencia significativa entre las comunidades, a excepción del sistema de Monocultivo Orgánico (Figura 14). La relación entre la riqueza observada y la riqueza esperada obtenida a través de los estimadores no paramétricos, muestra que en los diferentes sistemas se logró alcanzar una muestra representativa de más del 85 % de la población de estudio (Tabla 6), lo que nos permite saber que se realizó un buen muestreo y que con esta información es posible realizar un análisis de similitud de comunidades (Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt, sf).



**Figura 13.** Curvas de rango-abundancia de la entomofauna a nivel de orden en los cinco sistemas de producción y barbecho.



**Figura 14.** Curvas de rarefacción de la entomofauna a nivel de orden en los sistemas de producción y barbecho (intervalo de confianza al 95 % representada por las líneas punteadas).

**Tabla 6.** Resultados del porcentaje (%) de esfuerzo de muestreo a través de la riqueza observada vs la riqueza esperada.

SISTEMA	Riqueza observada	ACE	ICE	Chao 2	Bootstrap	Riqueza esperada	% Esfuerzo de muestreo
AS	11	14	14	11,48	11,84	12,83 ± 1,36	85,74
MO	12	13,79	13,6	12,48	12,88	13,19 ± 0,61	90,98
BAR	9	10,11	9,54	9	9,4	9,51 ± 0,46	94,64
AO	10	11,13	10,73	10	10,37	10,56 ± 0,48	94,70
MC	10	11	10,96	10,96	10,72	10,91 ± 0,13	91,66
AC	10	11,11	10,95	10	10,4	10,62 ± 0,51	94,16

## 6.2. Relación de diferentes variables ambientales con la composición de entomofauna encontrada en cada sistema de producción y barbechos

### 6.2.1. Descripción de la composición de entomofauna

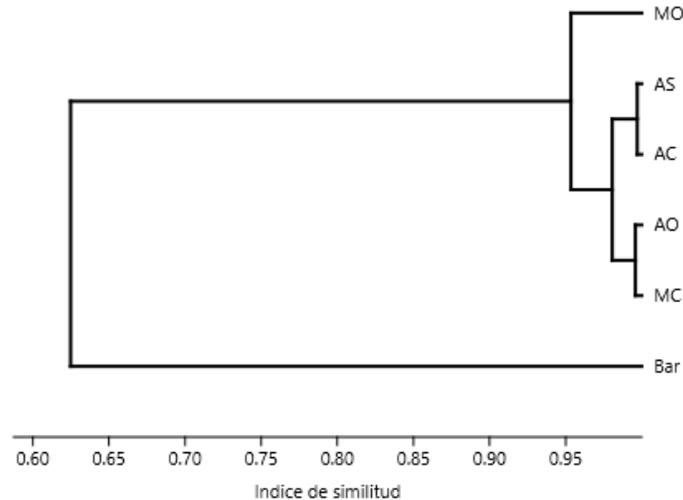
Según el análisis de similitud de Morisita-Horn, la comunidad de entomofauna de Barbecho con los cinco sistemas de producción (Agroforestal Convencional, Agroforestal Orgánico, Agroforestal Sucesional, Monocultivo Convencional y Monocultivo Orgánico), se encuentra con una semejanza por debajo del 74%, es decir, que por lo menos el 74 % de los

órdenes son compartidos con Barbecho, encontrando la menor similitud de composición de comunidades (47,26%) entre Barbecho y Monocultivo Orgánico. En contraparte, al 99,70% que representa la mayor similitud de comunidades entre los sistemas Agroforestales (Convencional y Sucesional) (Tabla 7).

**Tabla 7.** Resultados del índice de similitud de Morisita – Horn (Bar: Barbecho, AS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional).

Comparaciones	Índice de similitud Morisita - Horn	% similitud Morisita - Horn
AC - AO	0,985	98,45
AC - AS	0,997	99,70
AC - Bar	0,736	73,64
AC - MC	0,968	96,80
AC - MO	0,919	91,87
AO - AS	0,991	99,14
AO - Bar	0,626	62,64
AO - MC	0,996	99,58
AO - MO	0,972	97,21
AS - Bar	0,707	70,70
AS - MC	0,978	97,84
AS - MO	0,936	93,63
BAR - MC	0,582	58,23
BAR - MO	0,473	47,26
MC - MO	0,987	98,67

La similitud de comunidades entre todos los sistemas se encuentra por encima del 60% (para esta y las siguientes descripciones ver Figura 15). Considerando un nivel de similitud del 95%, se puede observar tres grupos de semejanza en composición de comunidades, donde el primer grupo engloba dentro de sí a dos grupos, uno comprendido por los sistemas agroforestales sucesional y convencional, sugiriendo que entre estos dos sistemas la variación de composición de comunidades es baja, al igual que el segundo grupo comprendido por los sistemas agroforestal orgánico y monocultivo convencional. El segundo y tercer grupo, integrados por MO y Bar respectivamente, que presentan una similitud de comunidades muy baja respecto a los anteriores sistemas



**Figura 15.** Dendrograma obtenido a partir del índice de Morisita-Horn en función a los sistemas de estudio (Bar: Barbecho, AS: Sistema agroforestal, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional).

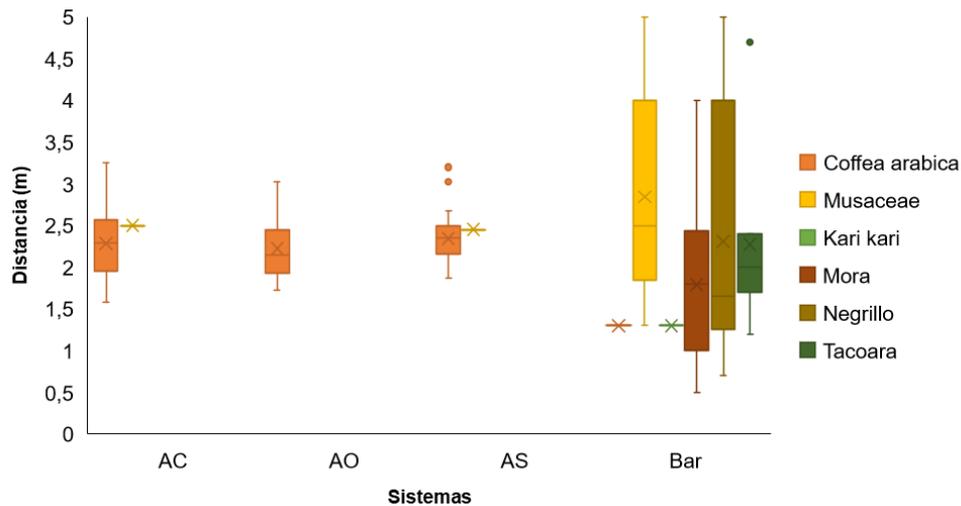
### 6.2.2. Descripción de las variables ambientales

La variable de cobertura de la copa del árbol para los sistemas de Monocultivo convencional y orgánico, fue registrada en base a los árboles de cacao cercanos al árbol de estudio, pues estas parcelas no contaban con otras especies arbóreas y arbustivas acompañantes, obteniendo así una distancia diagonal constante de 5 metros entre plantas de cacao.

En los sistemas Agroforestal Sucesional, Agroforestal Convencional y Agroforestal Orgánico se registró un mayor porcentaje de cacao como especie arbórea cercana al árbol de estudio, así también se registró *Erythrina sp.* (ceibo) como la segunda especie más abundante para los sistemas agroforestales (convencional y orgánico). Y *Attalea speciosa* (Motacú) como la única especie compartida con Barbecho (Anexo 4).

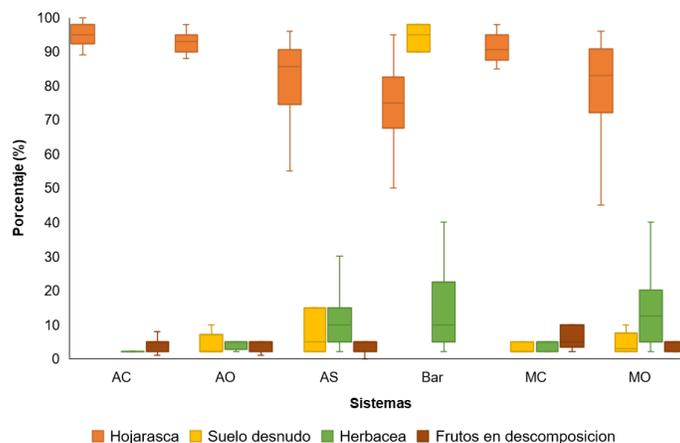
En resumen, Agroforestal Sucesional es el sistema de producción más rico en especies acompañantes ( $S= 29$ ) a comparación de los otros sistemas (Agroforestal Convencional = 15; Agroforestal Orgánico = 12; Barbecho = 8), donde los agroforestales (convencional y orgánico) no tienen mucha variación entre si con especies arbóreas, compartiendo cerca al 70 % de todos sus acompañantes (Anexo 4).

Respecto a las especies arbustivas cercanas a los árboles de estudio, en parcelas agroforestales (convencional, orgánico y relación34l) se registró *Coffea arabica* (café) como la única especie arbustiva, en una distancia promedio de  $2,34 \pm 0,7$  metros. Por otro lado, en el sistema de Barbecho se encontró mayor variación arbustiva en un rango de 0,5 m – 5 m, (Figura 16).



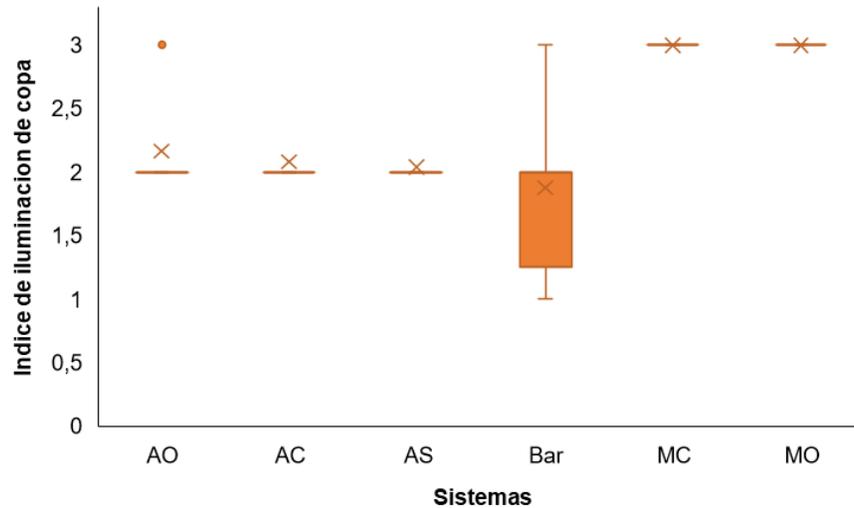
**Figura 16.** Diagrama de cajas de la distancia de especies arbustivas acompañantes en los diferentes sistemas de estudio.

En relación a la distribución de datos de la cobertura del suelo asociada a la copa del árbol (Figura 17), se encontró mayor porcentaje de hojarasca en casi todos los sistemas a excepción de barbecho, donde se registró puntos con mayor porcentaje de suelo desnudo, no reflejando lo mismo en el resto de los sistemas, donde incluso en parcelas de Agroforestal Convencional no se registró árboles con suelo desnudo bajo su copa, lo que se compenso con la hojarasca presente en este sistema.



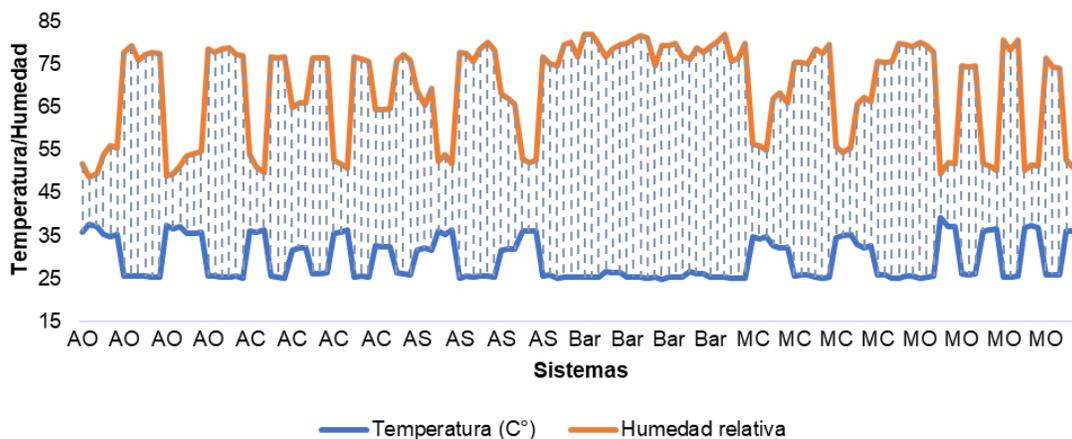
**Figura 17.** Diagrama de cajas de la cobertura del dosel en los diferentes sistemas de estudio.

En el caso del porcentaje herbáceas se registró esta variable en todos los sistemas de estudio, encontrando mayor distribución de este dato en parcelas de Barbecho, con algunos puntos que cubrían el 60 % de su superficie.



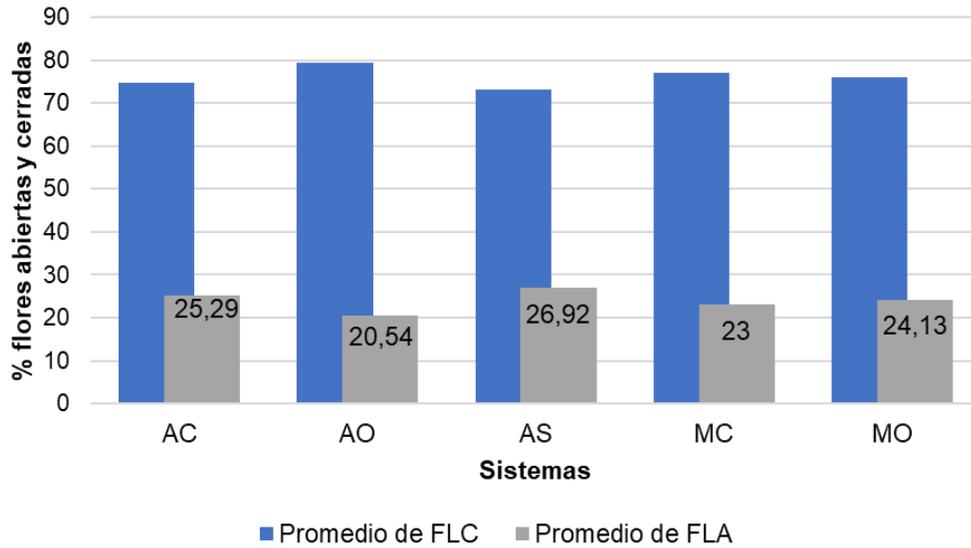
**Figura 18.** Diagrama de cajas de la distribución del índice de iluminación de copa en los sistemas de estudio.

Por otra parte, la variable categórica del Índice de Iluminación de Copa (IIC) nos permitió observar que, en los sistemas de monocultivo (convencional y orgánico) los árboles de estudio pertenecían a la Categoría 3 con una iluminación completa del sol (Figura 18). En cambio, en el resto de los sistemas (barbecho, agroforestal convencional, orgánico y sucesional) la mayoría de los árboles se registraron en la categoría 2, los cuales recibieron cierto porcentaje de sombra en la copa. Así también, se registró algunos puntos dentro de Barbecho con una sombra densa (categoría 1).



**Figura 19.** Temperatura y Humedad del ambiente en los diferentes sistemas de estudio

En cuanto a los datos de temperatura ( $T^{\circ}$ ) y humedad ( $H^{\circ}$ ) del ambiente (Figura 19) se observa una relación negativa entre ambas variables, donde a mayor temperatura menor humedad y viceversa ( $r = 0,981$ ). En general, entre los diferentes sistemas de estudio no se encuentra una fuerte variación de estos datos, aunque si entre parcelas, a excepción de Barbecho que presento una mayor humedad y por consiguientes una menor temperatura.



**Figura 20.** Porcentaje de flores abiertas (FLA) y cerradas (FLC) en relación a los diferentes sistemas de estudio.

Respecto al porcentaje de flores abiertas y cerradas (Figura 20) se registró en mayor cantidad flores cerradas que abiertas. Y aunque el porcentaje de flores abiertas oscila entre 20% y casi 27% el sistema que presento mayor cantidad de flores abiertas fue el Agroforestal orgánico. En relación a esto, Frimpong (2014) menciona que la estabilidad de las flores de cacao está determinada en gran medida por la polinización y las estaciones, donde las flores permanecen más tiempo durante el período húmedo lo que puede coincidir con una gran abundancia de polinizadores. Es así que esto podría estar explicando el bajo porcentaje de flores abiertas registradas en este estudio, ya que estos datos fueron registrados en época seca.

### **6.2.3. Relación del porcentaje de cobertura del suelo, el Índice de Iluminación de Copa y porcentaje de flores abiertas con la entomofauna**

Se encontró una relación positiva del porcentaje Herbáceas (HE) con la abundancia de entomofauna a nivel de orden (Tabla 8), es decir a mayor porcentaje de herbáceas mayor abundancia registrada. El sistema con mayor número de individuos encontrados fue Monocultivo Orgánico, además de un mayor registro de herbáceas, oscilando entre 5% y 40%

aproximadamente. Aunque en Barbecho se registró una frecuencia de herbáceas similar al del anterior sistema (Figura 17); sin embargo, este sistema presentó el menor número de individuos capturados. Este resultado parece ser algo contradictorio, empero, esto puede explicarse con la no presencia de algún cultivo fijo en Barbecho, ya que, al asemejarse a un bosque secundario, este disminuye la formación abundante de grupos de insectos plaga, como tienden a ser algunos Hemípteros (Zumbado y Azofeifa, 2018). Si bien para estos análisis no se consideró la presencia de hormigas, es inevitable no resaltar su posible influencia en estos resultados, ya que debido a su asociación con muchas plantas y animales y con la variedad de funciones ecológicas que estas muestran, puede presentarse como una competencia fuerte para la abundancia de otros artrópodos (Limachi *et al*, 2018), explicando así el bajo número de individuos no formícidos capturados en Barbechos.

Por otro lado, la riqueza de entomofauna tuvo una relación directa con el porcentaje de flores abiertas, esto podría explicarse por los diferentes mecanismos de atracción que generan las flores, ya sea por su forma, color, estructura y textura, el néctar y los aromas para su defensa y reproducción (Grajales-Conesa *et al*. 2011), donde Stejkal (1969), citado por Ríos (2015) demostró que las flores de cacao tienen una atracción organoléptica para algunos insectos.

**Tabla 8.** Resultados del análisis de regresiones lineales múltiples para los datos de cobertura del suelo asociada a la copa del árbol e índice de iluminación de copa (*Resultados significativos P<0,05*).

<b>Variables dependientes</b>	<b>Variables independientes</b>	<b>Relacion</b>	<b>Valor estimado</b>	<b>Error</b>	<b>valor de P (&lt;0,05)</b>
<b>DIVERSIDAD</b> (StdDev = 0,534)	(Intercepto)	+	4,53	0,40	0,00
	IIC	-	0,46	0,16	<b>0,00</b>
<b>RIQUEZA</b> (StdDev = 0,189)	(Intercepto)	+	6,64	0,13	0,00
	FLA	+	0,02	0,00	<b>0,00</b>
<b>Abundancia</b> (StdDev = 37,49)	(Intercepto)	+	201,63	21,97	0,00
	HE	+	1,31	0,48	<b>0,01</b>
	Sistema AC	-	93,26	30,08	<b>0,01</b>
	Sistema AO	-	46,39	29,65	0,14
	Sistema AS	-	79,93	29,34	<b>0,01</b>
	Sistema BAR	-	119,89	29,26	<b>0,00</b>
	Sistema MC	-	73,80	29,78	<b>0,02</b>

Por último, la única variable que explico la variación del índice de diversidad de entomofauna a nivel de orden fue el Índice de Iluminación de Copa (IIC), donde el análisis

estadístico nos dice que a mayor índice de iluminación de copa menor diversidad de órdenes. Los sistemas con árboles de estudio que se encontraron en la categoría 3 del IIC (copa del árbol con iluminación vertical directa) fueron los monocultivos convencional y orgánico, coincidiendo con sistemas donde se registró mayor dominancia ejercida por un solo orden (hemíptera) y por consiguiente sistemas con un índice de diversidad bajo. Al respecto Valladares (2006) menciona que las características de la radiación que llega a un determinado lugar afectan de forma muy significativa al funcionamiento general del ecosistemas, donde la luz solar directa tiene un fuerte componente direccional, formando contrastes de luz. Lo cual afecta al hábitat de diferentes animales, ya sea de manera directa en los regímenes de temperatura y humedad, o de manera indirecta a través del efecto en la formación vegetativa (Jennings, 1999).

#### **6.2.4. Relación de las especies acompañantes (arbóreas y arbustivas) con la entomofauna**

De las 37 especies acompañantes registradas entre arbustivas y arbóreas, solo 3 mostraron alguna relación significativa con la abundancia, riqueza y diversidad de entomofauna a nivel de orden (Tabla 7). Donde el índice de diversidad de entomofauna mostró una relación positiva con Motacú (*Attalea speciosa*), el cual fue registrado en parcelas agroforestales (convencional, orgánico y sucesional) y barbechos. En relación Núñez (2014) menciona que las estructuras reproductivas de la planta están relacionadas con la vida de numerosos insectos, los cuales acceden a las inflorescencias en busca de recursos que estas ofrecen, siendo sus principales polinizadores algunos coleópteros. Lo que podría coincidir con el alto porcentaje de coleópteros encontrados en parcelas de Barbecho, que además fueron parcelas donde se registró en mayor abundancia estas palmeras y un índice de diversidad alto después del sistema agroforestal convencional. Sin embargo, es cierto que esta atribución necesita de una investigación rigurosa en cuanto a la relación de esta palmera con el cultivo de cacao y la diversidad de entomofauna.

En cambio, la riqueza fue explicada mediante una relación negativa con el ambaibo (*Cecropia sp.*) (Tabla 9). Esta planta fue una especie arbórea exclusivamente registrada en parcelas de barbecho (Anexo 4), el cual, según algunos autores, esta presenta una interacción positiva con hormigas, donde estos insectos proveen a la planta protección de herbívoros (insectos o mamíferos), incluso atacando a otras plantas que le hagan sombra o intenten estar sobre la planta anfitriona (Perea, 2011; Ruiz-Guerra, s.f.). Es importante recordar que este

sistema presentó un número resaltante de hormigas durante el muestreo (Anexo 1), lo que podría explicar la riqueza mínima registrada en esta parcela.

**Tabla 9.** Resultados del análisis del modelo lineal de efectos mixtos para los datos de especies acompañantes (arbustivas y arbóreas) a los árboles de estudio (*Resultados significativos  $P < 0,05$* ).

<b>Variables dependientes</b>	<b>Variables independientes</b>	<b>Relacion</b>	<b>Valor estimado</b>	<b>Error</b>	<b>valor de P (&lt;0,05)</b>
<b>DIVERSIDAD</b>	(Intercept)	+	3,387	0,145	0,000
	<i>Attalea speciosa</i>	+	0,147	0,064	0,023
<b>RIQUEZA</b>	(Intercept)	+	7,087	0,081	0,000
	<i>Cecropia sp</i>	-	0,206	0,066	0,002
<b>ABUNDANCIA</b>	(Intercept)	+	11,600	0,465	0,000
	<i>Garcinia sp.</i>	+	0,636	0,293	0,032

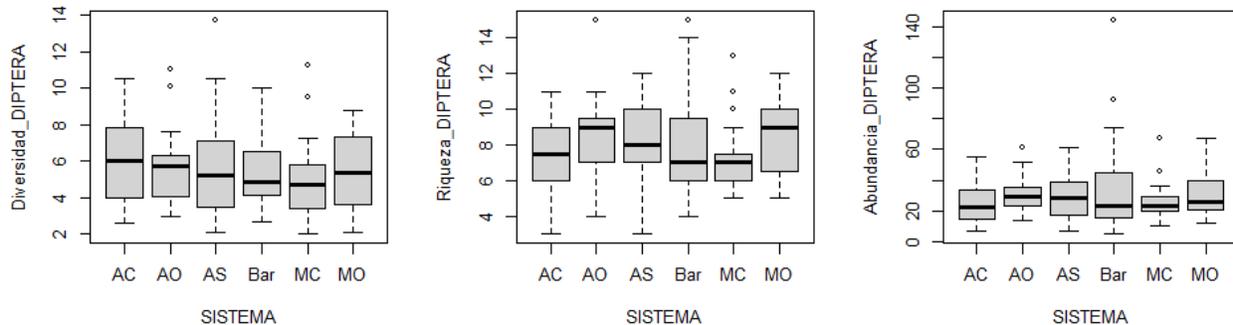
Respecto a la relación de la abundancia de entomofauna a nivel de orden con las diferentes especies acompañantes (arbóreas y arbustivas), la única especie que presentó una relación positiva fue *Garcinia sp.* Registrando estas plantas solo en parcelas de sistema agroforestal (Anexo 4) y en mayor abundancia en el Agroforestal Sucesional o dinámico. Esta planta al ser perennifolia podría brindar un espacio constante a insectos herbívoros y junto con ellos a sus depredadores, indicando un equilibrio en el ecosistema (Landeros-Sánchez *et al.* 2011). Aunque es evidente que se requiere de una investigación profunda de la asociación de esta planta con el cultivo de cacao y la abundancia de entomofauna.

### **6.3. Descripción de la comunidad de entomofauna del orden Díptera**

El segundo grupo con mayor frecuencia registrada para este estudio es Díptera (Anexo 2) lo que concuerda con lo reportado por algunos autores (Vásquez, 2020; Bravo *et al.* 2010) que trabajaron con *T. cacao* en sistemas agroforestales en Ecuador y Costa Rica. En general se registró un total de 4395 individuos pertenecientes al orden Díptera, donde para los posteriores análisis solo se trabajó con 4235 insectos, descartando algunos individuos pertenecientes a la subsección Acalyptratae por dificultades en la identificación hasta nivel de familia.

Según el diagrama de cajas que se muestra en la figura 21 de la distribución del índice de diversidad, riqueza y abundancia de dípteros, se observa que existe una ligera variación entre sistemas respecto a la riqueza de dípteros, sin embargo, el análisis de varianza sugiere que el sistema de producción no influye en la diversidad, riqueza y abundancia de dípteros (Tabla 10). Este resultado podría atribuirse al poco distanciamiento entre las parcelas de estudio, ya que

estos insectos pudieron desplazarse con facilidad de una parcela a otra. Lo que no permite notar que la diversidad de dípteros se ve influenciada por la heterogeneidad estructural del ecosistema como menciona Delgado-Ochica, (2011).



**Figura 21.** Distribución de las diferentes variables dependientes de dípteros en relación al sistema de estudio.

**Tabla 10.** Resultados del análisis de varianza de una vía para las diferentes variables dependientes de Díptera compradas con el sistema de estudio (*Resultados significativos  $P < 0,05$* ).

VARIABLES DEPENDIENTES	FACTOR	Chi cuadrado	Grados de libertad	valor de P
Diversidad Diptera	Sistema	16	5	0,9057
Riqueza Diptera	Sistema	24	5	0,7943
Abundancia Diptera	Sistema	11	5	0,9581

En relación a la riqueza y abundancia de dípteros, Chumacero *et al*, (2016) identificaron 27 individuos, distribuidas en 8 familias (Asteiidae, Ceratopogonidae, Chloropidae, Phoridae, Phychodidae, Psilidae, Sciaridae y Tachinidae) capturadas en parcelas de manejo agroforestal en el noreste de La Paz. En cambio, Zegada *et al*, (2020), registraron en el mismo área de estudio que este trabajo (Sara Ana – Alto Beni) un total de 30 individuos distribuidas en 11 familias (Camilidae, Carnidae, Cacidomyiidae, Ceratopogonidae, Chloropidae, Drosophilidae, Phoridae, Psychodidae, Sciaridae, Simulidae y Ulidiidae) en cinco sistemas de producción (Agroforestal sucesional, Agroforestal Orgánico, Agroforestal Convencional, Monocultivos Convencional y Orgánico). Donde claramente se observa una gran diferencia con los resultados obtenidos para este estudio en riqueza y abundancia (Tabla 11), siendo que en cinco días de muestreo se logró capturar e identificar más de 40 familias de dípteros. Esto principalmente puede atribuirse al tipo de muestreo realizado, ya que en los estudios anteriores utilizaron una trampa específica de tipo

pegamento en flores abiertas de cacao, limitándose solo a la captura de insectos polinizadores y/o visitantes florales de tamaños relativamente pequeños que puedan movilizarse por los estaminodios de la flor (Montero-Cedeño *et al*, 2019). Evitando así la captura de insectos que por su tamaño no logran aprovechar las recompensas que ofrecen las flores de cacao (Adjaloo, 2013; Montero-Cedeño *et al*, 2019). Por otro lado, en un estudio realizado en Ghana por Frimpong, *et al*, (2009) con el mismo método de muestreo que este trabajo (pan traps), se reporta mayor abundancia de dípteros en relación a los resultados de Chumacero *et al*, (2016) y Zegada *et al*, (2018), pero menor comparada con este estudio, lo cual podría estar asociada a diversos factores climatológicos, ubicación geográfica o incluso el número de trampas utilizadas, ya que para el actual trabajo se utilizó el doble de trampas que Frimpong y colaboradores.

Al respecto Adjaloo y Oduro (2013) sugieren que la abundancia de especies de insectos en parcelas de cacao no es indicativa de su condición de polinizadores, ya que, a pesar de la amplia gama de abundancia de especies en las plantaciones de cacao, solo una pequeña fracción puede visitar las flores. Considerando así, que la población de polinizadores es un factor limitante en el rendimiento del cacao (Groeneveld *et al*, 2010). Los otros insectos solo parecen enriquecer el ecosistema con su presencia, pero podrían no tener un efecto directo sobre la producción de cacao (Adjaloo y Oduro, 2013).

Dentro las tres familias con mayor frecuencia (Tabla 11) registradas para este estudio se encuentran Chloropidae, Cecidomyiidae y Phoridae, cada uno con una diferente distribución en los sistemas. Concordando con los resultados obtenidos por Chumacero *et al*, (2016) en sistemas agroforestales para Chloropidae y Phoridae, pero no así con Cecidomyiidae que encontraron una presencia mucho menor a Ceratopogonidae. Al respecto moscas de las familias Chloropidae y Phoridae son conocidas por presentar diversos hábitos alimenticios entre fitófagas, descomponedoras, depredadoras y parasitoidas además de que algunos autores los consideran como potenciales visitantes florales en cacao (Viquez, 2009; Chumacero *et al*, 2016; Kevan, 1983; Young *et al*. 1984). Por otro lado, las mosquitas de la familia Cecidomyiidae son considerados como uno de los grupos que colabora en la polinización del cacao después de los Ceratopogonidae (Córdoba *et al*., 2013), además de ayudar en la disposición de masas de polen a los estigmas de *T. cacao* (Vázquez, 2020).

**Tabla 11.** Abundancias absolutas y relativas de las diferentes familias del orden Diptera identificados en los seis sistemas de estudio.

No.	FAMILIA	AC		AO		AS		BAR		MC		MO		TOTAL	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1	Chloropidae	175	29,31	195	26,42	218	31,78	77	9,03	215	34,68	260	35,09	1140	26,92
2	Cecidomyiidae	125	20,94	140	18,97	147	21,43	126	14,77	106	17,10	88	11,88	732	17,28
3	Phoridae	110	18,43	118	15,99	101	14,72	210	24,62	62	10,00	97	13,09	698	16,48
4	Ulidiidae	40	6,70	81	10,98	41	5,98	250	29,31	11	1,77	19	2,56	442	10,44
5	Stratiomyidae	36	6,03	42	5,69	26	3,79	16	1,88	80	12,90	68	9,18	268	6,33
6	Dolichopodidae	25	4,19	36	4,88	22	3,21	17	1,99	31	5,00	39	5,26	170	4,01
7	Tephritidae	17	2,85	6	0,81	24	3,50	10	1,17	5	0,81	8	1,08	70	1,65
8	Drosophilidae	12	2,01	12	1,63	28	4,08	26	3,05	7	1,13	21	2,83	106	2,50
9	Sciaridae	10	1,68	30	4,07	14	2,04	6	0,70	57	9,19	68	9,18	185	4,37
10	Neriidae	9	1,51	4	0,54	8	1,17	21	2,46	3	0,48	3	0,40	48	1,13
11	Ceratopogonidae	8	1,34	6	0,81	11	1,60	7	0,82	6	0,97	8	1,08	46	1,09
12	Tachinidae	4	0,67	6	0,81	3	0,44	3	0,35	1	0,16	7	0,94	24	0,57
13	Richardidae	4	0,67	5	0,68	8	1,17	38	4,45	4	0,65	1	0,13	60	1,42
14	Scatopsidae	3	0,50	7	0,95	1	0,15	3	0,35	4	0,65	6	0,81	24	0,57
15	Chironomidae	3	0,50	22	2,98	5	0,73	7	0,82	4	0,65	10	1,35	51	1,20
16	Sarcophagidae	3	0,50	4	0,54	1	0,15	2	0,23			1	0,13	11	0,26
17	Asilidae	2	0,34	2	0,27					2	0,32	15	2,02	21	0,50
18	Psychodidae	2	0,34	4	0,54	9	1,31	5	0,59	3	0,48	4	0,54	27	0,64
19	Limoniidae	2	0,34	1	0,14	2	0,29	1	0,12			1	0,13	7	0,17
20	Aulacigastridae	2	0,34											2	0,05
21	Tipulomorpha	1	0,17			1	0,15			2	0,32	3	0,40	7	0,17
22	Ditomyiidae	1	0,17	1	0,14	1	0,15	1	0,12			2	0,27	6	0,14
23	Lauxaniidae	1	0,17	2	0,27	6	0,87	5	0,59	1	0,16	3	0,40	18	0,43
24	Mycetophilidae	1	0,17					1	0,12					2	0,05
25	Micropezidae	1	0,17	1	0,14			3	0,35	1	0,16	1	0,13	7	0,17
26	Culicidae							1	0,12	2	0,32	1	0,13	4	0,09
27	Muscidae			6	0,81	1	0,15	6	0,70	3	0,48	2	0,27	18	0,43
28	Fanidae			1	0,14									1	0,02
29	Syrphidae					1	0,15	1	0,12					2	0,05
30	Tipulidae							1	0,12					1	0,02
31	Calliphoridae					2	0,29	6	0,70	2	0,32			10	0,24
32	Platypezidae					1	0,15							1	0,02
33	Lonchaedidae							2	0,23			2	0,27	4	0,09
34	Anthomyiidae					1	0,15							1	0,02
35	Agromyzidae							1	0,12			1	0,13	2	0,05
36	Chamaemyiidae			1	0,14	1	0,15			2	0,32			4	0,09
37	Dryomyzidae									1	0,16			1	0,02
38	Heleomyzidae					1	0,15			1	0,16			2	0,05
39	Bibionidae			3	0,41							1	0,13	4	0,09
40	Athericidae			1	0,14									1	0,02
41	Carnidae					1	0,15			4	0,65			5	0,12
42	Simuliidae			1	0,14									1	0,02
43	D-M7											1	0,13	1	0,02
<b>SUMA TOTAL</b>		597	100	738	100	686	100	853	100	620	100	741	100	4235	100

Si bien los dípteros de la familia Ceratopogonidae son considerados ampliamente como potenciales polinizadores del cacao (Frimpong, 2009; Soria, 1971; Adjaloo y Oduro 2013), estos fueron registrados en menor porcentaje para todos los sistemas (<2%), resultados que no difieren mucho de los obtenidos por Chumacero *et al.* (2016) y Zegada *et al.* (2020) pero si con los

resultados logrados por Adjaloo y Oduro (2013) y Frimpong (2009) en Ghana que encontraron en mayor abundancia este grupo en relación al resto de las familias de díptera.

**Tabla 12.** Abundancia, riqueza, índice de diversidad de Simpson y equitatividad de Pielou de la entomofauna registrada de díptera en los diferentes sistemas de estudio.

SISTEMA		Total individuos capturados (n)	Riqueza observada (S)	Abundancia promedio	Riqueza promedio	Índice de diversidad promedio	Equitatividad de Pielou Promedio
TOTAL (Diptera)	AC	597	25	24,88 ± 11,98	7,63 ± 2,1	6 ± 2,26	0,93 ± 0,1
	AO	738	28	30,75 ± 11,51	8,5 ± 2,41	5,65 ± 2,02	0,89 ± 0,07
	AS	686	29	28,58 ± 14,35	8,08 ± 2,36	5,57 ± 2,81	0,89 ± 0,12
	Bar	853	29	35,54 ± 32,99	7,79 ± 2,87	5,35 ± 1,78	0,9 ± 0,12
	MC	620	27	25,83 ± 11,86	7,21 ± 1,91	4,95 ± 2,21	0,88 ± 0,11
	MO	741	29	30,88 ± 13,02	8,38 ± 1,93	5,41 ± 2,12	0,87 ± 0,11

En cuanto a la distribución de familias de dípteros identificadas en los diferentes sistemas de estudio, se observa que en las gráficas de rango-abundancia (Figura 22) existe una dominancia comprendida entre tres a cinco familias. En los cinco sistemas de producción de cacao (Agroforestal convencional, orgánico y Sucesional y Monocultivo convencional y orgánico) la familia más dominante fue Chloropidae, seguido de Cecidomyiidae y Phoridae, pero no así en monocultivos (convencional y orgánico) donde la curva rango-abundancia mostró una pendiente pronunciada ocasionada solo por la familia Chloropidae en ambos casos, lo que indica que estos sistemas presentan menor equitatividad comparadas con el resto de los sistemas; evidenciándose con el índice de Pielou (Tabla 12); así también con el hecho de que insectos de esta familia prefieren espacios con pastizales y/o herbáceas (Nartshuk, 2011). En el caso de Barbecho la dominancia fue dada por la familia Ulidiidae, seguido de Phoridae, Cecidomyiidae y Chloropidae.

El esfuerzo de muestreo para las familias del orden Díptera, obtenidos a partir de los estimadores no paramétricos por rarefacción, nos dice que se logró cubrir una muestra representativa de más del 64% de la composición en todos los sistemas (Tabla 13). Donde en ninguno de los sistemas se logró alcanzar una asíntota (Figura 23). El traslape de las curvas de intervalos de confianza sugiere que en ninguno de los casos existen diferencias significativas a nivel de diversidad a excepción de Barbecho arriba de los 750 individuos capturados aproximadamente (Figura 23).

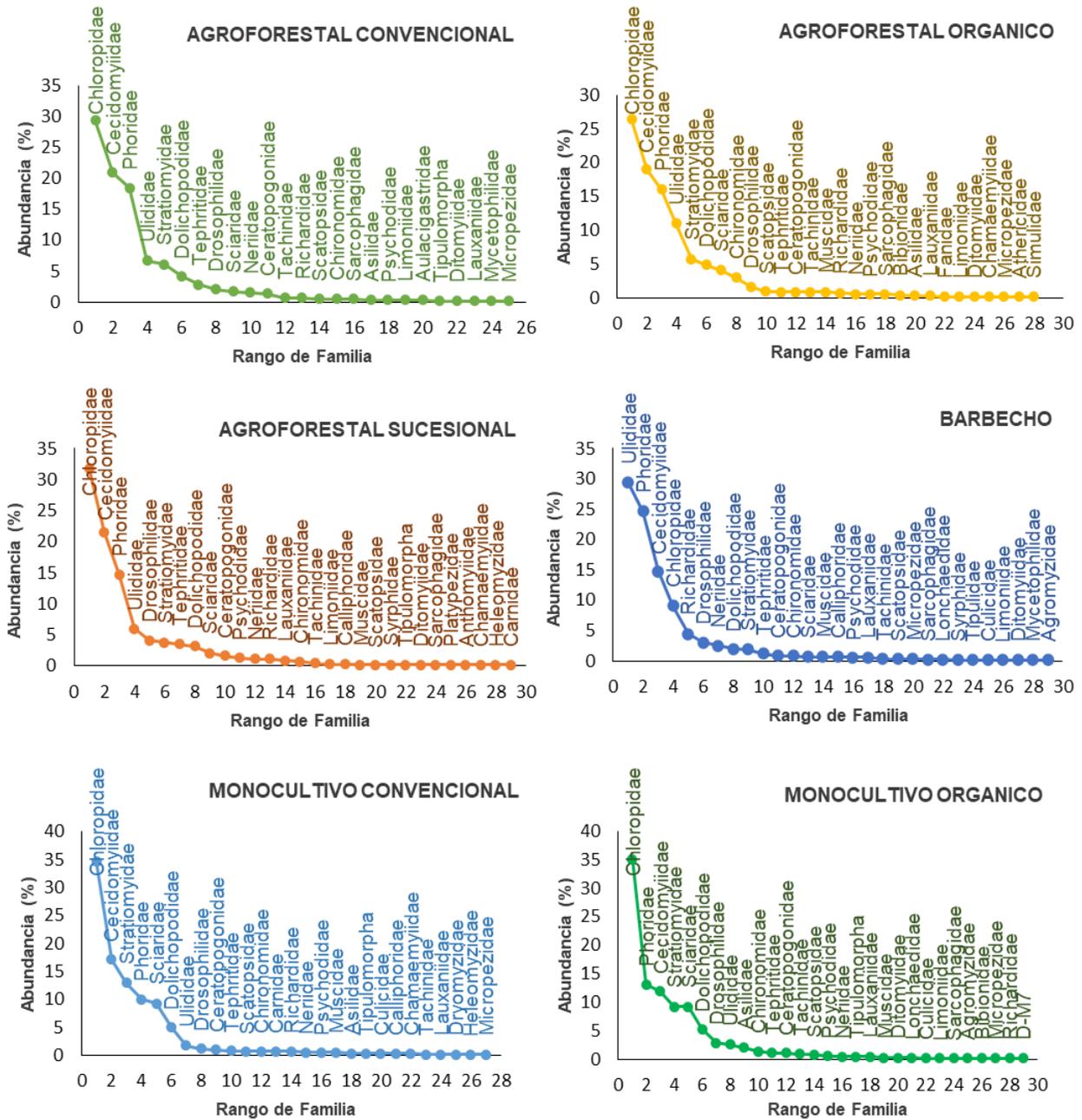
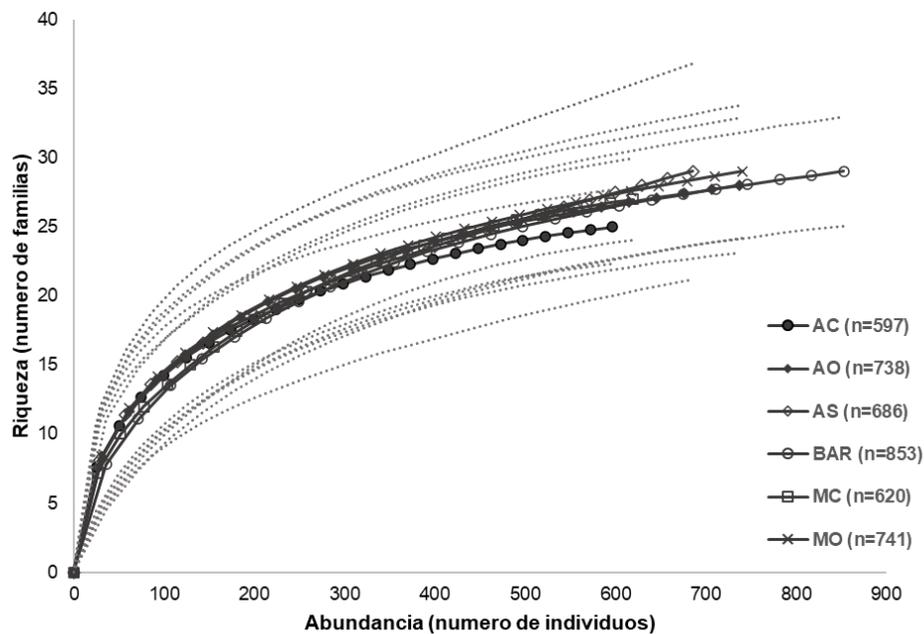


Figura 22. Curvas rango - abundancia de familias del orden Díptera en los sistemas de estudio.

**Tabla 13.** Esfuerzo de muestreo de familias del orden Díptera en los sistemas de estudio, obtenidas a partir de estimadores no paramétricos.

SISTEMA	Riqueza observada	ACE	ICE	Chao 2	Bootstrap	Riqueza esperada	% Esfuerzo de muestreo
AS	29	48,15	47,08	50,08	33,62	44,73 ± 7,51	64,83
MO	29	37,63	35,59	34,37	32,49	35,02 ± 2,16	82,81
BAR	29	34,35	34,66	32,35	32,29	33,41 ± 1,27	86,79
AO	28	32,72	32,99	33,03	31,01	32,44 ± 0,96	86,32
MC	27	29,5	30,99	38,96	30,21	32,42 ± 4,41	83,29
AC	25	29,73	29,13	35,23	27,61	30,43 ± 3,33	82,17



**Figura 23.** Curvas de rarefacción de la riqueza de familias del orden Díptera en los sistemas de estudio (intervalo de confianza al 95 % representada por las líneas punteadas).

#### 6.4. Relación de las diferentes variables ambientales con la composición de entomofauna de dípteros presentes en cada sistema de estudio

##### 6.4.1. Descripción de la semejanza en composición de comunidades de entomofauna de dípteros

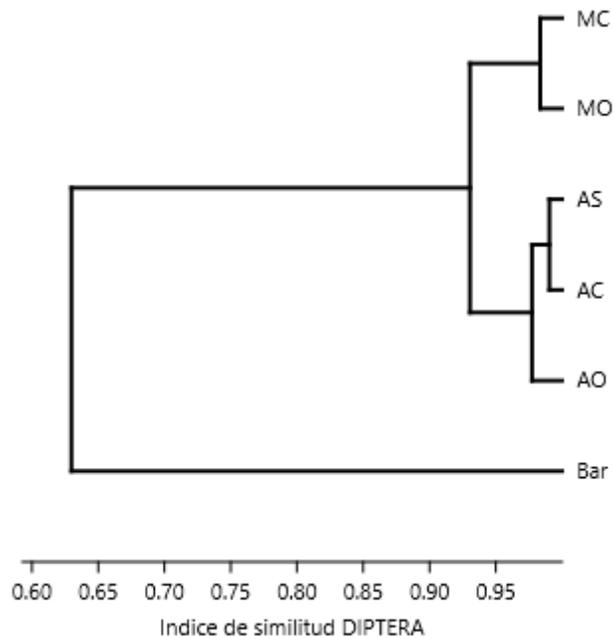
Según el análisis de similitud de Morisita-Horn, la semejanza de composición de comunidades del orden díptera muestra que el sistema de Barbecho comparada con los cinco

sistemas de producción, se encuentra por debajo del 77 % (Tabla 14). Es decir que por lo menos el 77% de toda la comunidad es compartida entre los seis sistemas. La menor similitud de composición de familias se presenta entre barbecho y monocultivo convencional con 49, 58%, contrastada con una mayor similitud de composición de familias entre agroforestal convencional y agroforestal sucesional (99,04%).

**Tabla 14.** Resultados del índice de similitud de comunidades de Morisita – Horn para el orden Díptera (Bar: Barbecho, AS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional).

<b>Comparaciones</b>	<b>Índice de similitud Morisita - Horn</b>	<b>% similitud Morisita - Horn</b>
<b>AC - AO</b>	0,983	98,30
<b>AC - AS</b>	0,990	99,04
<b>AC - Bar</b>	0,708	70,77
<b>AC - MC</b>	0,931	93,09
<b>AC - MO</b>	0,932	93,24
<b>AO - AS</b>	0,972	97,15
<b>AO - Bar</b>	0,763	76,28
<b>AO - MC</b>	0,918	91,82
<b>AO - MO</b>	0,923	92,35
<b>AS - Bar</b>	0,658	65,78
<b>AS - MC</b>	0,939	93,89
<b>AS - MO</b>	0,939	93,91
<b>BAR - MC</b>	0,496	49,58
<b>BAR - MO</b>	0,525	52,48
<b>MC - MO</b>	0,984	98,36

Por otro lado, considerando un nivel de similitud del 95%, en el dendrograma se puede observar tres grupos de semejanza en composición de comunidades de dípteros (Figura 24). El primer grupo engloba a los sistemas de monocultivo (convencional y orgánico), mostrando una relación estrecha entre sí en similitud de composición de comunidades; dentro del segundo grupo se puede observar la presencia de una relación cercana entre comunidades de dípteros de los sistemas agroforestal sucesional y agroforestal convencional, los cuales no se alejan mucho del sistema agroforestal orgánico; el tercer grupo sin embargo es integrado solo por Barbecho, que presenta una similitud baja en relación a los anteriores sistemas.



**Figura 24.** Dendrograma de similitud de comunidades de Díptera de los sistemas de producción y barbecho.

#### **6.4.2. Relación del porcentaje de cobertura del suelo, el Índice de Iluminación de Copa y el porcentaje de flores abiertas con la entomofauna de dípteros**

Las variables % hojarasca, % herbáceas, % frutos en descomposición % suelo desnudo, % flores abiertas, índice de iluminación de copa y humedad relativa no afectan a la abundancia, riqueza e índice de diversidad de dípteros (Prueba de Razón de Verosimilitud entre el mejor modelo y el modelo nulo; Tabla 15).

Estos resultados difieren con lo reportado por Córdoba *et al*, (2013) y Bravo *et al*, (2010), donde en ambas investigaciones se menciona que existe una relación de la composición de entomofauna de dípteros con la presencia de hojarasca y frutos en descomposición, por el nicho que brindan para que estos insectos completen su desarrollo. Aunque cabe resaltar que estas investigaciones estuvieron enfocadas solo en dípteros potencialmente polinizadores del cacao, como son considerados los cecidomyiidae y ceratopogonidae.

**Tabla 15.** Comparación de mejores modelos contra sus respectivos modelos nulos a través de la Prueba de Razón de Verosimilitud (*Test LRT*) para los datos del orden Díptera (DIV= índice de diversidad; RIQ= Riqueza; AB= Abundancia; IIC= índice de iluminación de copa; SIST= Sistema)

VARIABLES DEPENDIENTES	MODELOS	Grados de libertad	Chi cuadrado	Pr(>Chi cuadrado)
<b>Diversidad DIPTERA</b>	Modelo nulo = log(DIV) ~ 1	3		
	Mejor modelo = log(DIV) ~ IIC	4	3	0,1121
<b>Riqueza DIPTERA</b>	Modelo nulo = RIQ ~ 1	3		
	Mejor modelo = RIQ ~ SIST	8	9	0,09785
<b>Abundancia DIPTERA</b>	Modelo nulo = sqrt (AB) ~ 1	3		
	Mejor modelo = sqrt (AB) ~ IIC	4	0,8491	0,3568

#### 6.4.3. Relación de las especies acompañantes (arbóreas y arbustivas) con la entomofauna de díptera

De las 37 especies acompañantes entre arbóreas y arbustivas cercanas a los diferentes árboles de estudio, el análisis estadístico mostró que solo la variación de la riqueza de dípteros es explicada por tres de estas especies *Garcinia sp.*, *Myroxylon balsamum* y *Persea americana* (Tabla 16). Estas plantas fueron registradas en parcelas agroforestales, siendo que el sistema agroforestal sucesional presentó mayor abundancia de estos árboles (Anexo 4). Al respecto, en un estudio realizado en Colombia en relación a la asociación de *Persea americana* con dípteros, se encontró que insectos pertenecientes a las familias Calliphoridae y Syrphidae son polinizadores potenciales de esta planta (Carabalí-Banguero *et al.* 2018). Si bien no se registró una abundancia representativa de estos individuos en todas las parcelas agroforestales, cabe resaltar que solo fueron reportados en parcelas agroforestales sucesionales y no así en agroforestales convencional y orgánico. Por otro lado, conforme a la relación de *Garcinia sp.* y *Myroxylon balsamum* con la riqueza de dípteros, no se encontró bibliografía que explique este resultado, sin embargo, se puede aludir que, al ser plantas perennifolias, estas podrían brindar un espacio constante a insectos herbívoros y junto con ellos a sus depredadores, indicando así un equilibrio en el ecosistema (Landeros-Sánchez *et al.* 2011).

Por otra parte, conforme a la variación de la abundancia e índice de diversidad de entomofauna de dípteros, ninguna de las especies acompañantes (arbustivas y/o arbóreas) presento alguna relación, lo cual fue comprobado mediante la prueba LRT (Tabla 16) comparando con su modelo nulo respectivo.

**Tabla 16.** Comparación de mejores modelos contra sus respectivos modelos nulos a través de la Prueba de Razón de Verosimilitud (*Test LRT*) para los datos de especies acompañantes en relación al orden Díptera (DIV= índice de diversidad; RIQ= Riqueza; AB= Abundancia). Valores significativos resaltados en color rojo.

VARIABLES DEPENDIENTES	MODELOS	Grados de libertad	Chi cuadrado	Pr(>Chi cuadrado)
<b>Diversidad DIPTERA</b>	Modelo nulo = $\log(\text{DIV}) \sim 1$	3		
	Mejor modelo = $\log(\text{DIV}) \sim$ <i>Attalea speciosa</i>	4	22,075	0,1373
<b>Riqueza DIPTERA</b>	Modelo nulo = $\text{RIQ} \sim 1$	3		
	Mejor modelo 2 = $\text{RIQ} \sim$ <i>Garcinia sp.</i>	4	0,460	<2e-16
	Mejor modelo 3 = $\text{RIQ} \sim$ <i>Myroxylon balsamum</i>	4	0,093	<2e-16
	Mejor modelo 5 = $\text{RIQ} \sim$ <i>Persea americana</i>	4	0,102	<2e-16
<b>Abundancia DIPTERA</b>	Modelo nulo = $\text{sqrt}(\text{AB}) \sim 1$	3		
	Mejor modelo = $\text{sqrt}(\text{AB}) \sim$ <i>Garcinia sp.</i>	4	16,613	0,1974

## 7. CONCLUSIONES

El sistema de producción si tiene un efecto en el índice de diversidad y la abundancia de entomofauna a nivel de orden, mostrando una variación de las parcelas de Monocultivo Orgánico con el resto de los sistemas (Agroforestal Sucesional, Agroforestal Convencional, Agroforestal Orgánico, Monocultivo Convencional y Barbecho). Aceptando así la hipótesis de este estudio, donde la composición de entomofauna es variable en relación a la estructura, composición vegetativa y la fluctuación de variables ambientales de cada sistema. Y de igual modo la hipótesis de perturbación intermedia.

En contraste, los sistemas de producción no tienen efectos evidentes en la abundancia, riqueza y diversidad de entomofauna de dípteros, probablemente ocasionado por el poco distanciamiento entre las parcelas de estudio, ya que la mayoría de estos insectos se desplazan mediante el vuelo.

Dentro de las variables registradas en cobertura del dosel, solo el % Herbáceas muestra una relación directa con la abundancia de entomofauna a nivel de orden, posiblemente dado por un desequilibrio ecológico ocasionado por el uso de agroquímicos, ya que se encontró mayor frecuencia de esta variable en parcelas de manejo orgánico comparadas con parcelas de manejo convencional (agroforestal y monocultivo), coincidiendo con el registro de una mayor abundancia de insectos en parcelas orgánicas. Así también se tiene una relación positiva del % de flores abiertas con la riqueza de entomofauna a nivel de orden, explicándose por los diferentes mecanismos de atracción que generan las flores, para su defensa y reproducción.

Por otro lado, el Índice de Iluminación Copa es la única variable que presenta influencia indirecta con el índice de diversidad de entomofauna a nivel de orden, sugiriendo que a mayor espacios abiertos de luz vertical directa menor diversidad de entomofauna, debido a que esto afecta al hábitat de diferentes animales.

En cuanto a la composición de dípteros, ninguna de las variables dependientes (abundancia, riqueza e índice de diversidad) tiene relación con las diferentes variables ambientales. Respecto a la relación de las 37 especies acompañantes (arbustivas y arbóreas) registradas en los diferentes sistemas, solo cinco (*Attalea speciosa*, *Garcinia sp.*, *Cecropia sp.*, *Myroxylon balsamum* y *Persea americana*) explican alguna variación de promedios en la abundancia, riqueza y diversidad de órdenes y familias de díptera.

## 8. RECOMENDACIONES

El estudio evaluó la composición de entomofauna entre diferentes sistemas de producción de cacao, como proxy del servicio de polinización, pero aún queda cuantificar el efecto directo en la polinización entre sistemas de producción. En ese sentido, tener a muchos insectos en monocultivos no necesariamente implicaría un buen servicio en la polinización, sino más bien un alto nivel de competencia o la desaparición del controlador de potenciales insectos plaga. La hipótesis de perturbación intermedia también sería una explicación y debería ser tomado en cuenta como variable en otros estudios.

Por otro lado, es evidente la necesidad de evaluar la influencia de las diferentes especies acompañantes en la composición de entomofauna en plantaciones de cacao. Porque si bien se encontró algunas relaciones en el presente estudio, tanto a nivel de orden como a familia (en el caso de dípteros), no necesariamente esto podría deberse a una competencia floral, siendo que el pico de floración varía según la especie, además de la época estacional. Así también, debido a la existencia de una preferencia fija de algunas especies de insectos hacia las diferentes especies vegetales, es que sería interesante evaluar la interacción insecto planta a nivel de especie.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Adjaloo, M.K. & Oduro, W. (2013). Insect assemblage and the pollination system in cocoa ecosystems. *in* Journal of Applied Biosciences. DOI: 10.4314/jab.v62i0.86070
- Adjaloo, M.K., Owusu-Ansah, E., Oduro, W., & Fleischer, T. (2017). PREFERENCE OF COCOA POLLINATORS FOR DIFFERENT BREEDING SUBSTRATES IN A COCOA-AGROECOSYSTEM: A PROXY APPROACH. *Ghana J. Forestry*, Vol. 33, 2017, 38 – 47
- Alba, S. (2004). Los desplazamientos de los insectos. *Revista HORTICULTURA*. 48 – 51.
- Alcón, F., Seidel, R. y Schneider, M. (2009). Proyecto: comparación de sistemas de producción de cacao a largo plazo en el trópico de Bolivia. *RevActaNova*. vol.4 no.2-3 Cochabamba dic. 2009
- Alexander, K., Rivera, I. y Melic, A. (2015). Orden Psocóptera. *Revista IDE@ - SEA*, nº 50: 1–13.
- Almeida, A. A. & Valle, R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. Recuperado en 17 de junio de 2021, de <https://www.scielo.br/ij/bjpp/a/CH3fMFFp6wY4mfZYFPmS7cj/abstract/?lang=en>
- Arvelo, M. A., Gonzales, D., Maroto, S., Delgado, T. y Montoya, P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao. *Prácticas Latinoamericanas*. IICA
- Baquero, E. y Jordana, R. (2015). Clase Collembola. Órdenes Poduromorpha, Entomobryomorpha, Neelipleona y Symphypleona. *Revista IDE@ - SEA*, nº 36 (30-06-2015): 1–11.
- Barretto, J., Gonzales, G. y Escobar, F. (s.f.). A dónde y cómo se mueven los insectos. INECOL. Recuperado de: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/953-a-donde-y-como-se-mueven-los-insectos>
- Bravo, J. C., Somarriba, E. y Arteaga, G. (2010). Factores que afectan la abundancia de insectos polinizadores del cacao en sistemas agroforestales. *Revista de ciencias agrícolas*.
- Bravo-Portocarrero, Rosario, Zela Uscamayta, Kennedy, & Lima-Medina, Israel. (2020). Eficiencia de trampas pegantes de colores en la captura de insectos de hortalizas de hoja. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 61-66. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.07>
- Chumacero, C., Kessler, M., Hensen, I. & Tschardtke, T. (2016). Abundance and diversity of flower visitors on wild and cultivated cacao (*Theobroma cacao* L.) in Bolivia. DOI: 10.1007/s10457-016-0019-8
- Connell, J. (1978). Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs. *Science, New Series*, Vol. 199, No. 4335. (Mar. 24, 1978), pp. 1302-1310.
- Córdoba, C., Cerda, R., Deheuvels, O., Hidalgo, E. y Declerck, F. (2013). Polinizadores, polinización y producción potencial de cacao en sistemas agroforestales de Bocas del Toro, Panamá. *Agroforestería en las Américas* Nº 49
- Couturier, G., Clement, C.R., Filho, V. (1991). *Leptoglossus lonchoides* Allen (Heteroptera, Coreidae), causante de la caída de los frutos de *Bactris gasipaes* (Palmae) en la Amazonia Central. *Turrialba* 41(3): 293-298.
- Delgado-Ochica, C. y Saenz-Aponte, A (2011). DÍPTEROS (INSECTA: DIPTERA) ASOCIADOS A SISTEMAS PRODUCTIVOS DEL QUINDÍO Y VALLE DEL CAUCA (COLOMBIA). *Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, nº 48 (30/06/2011): 425–430.

- Díaz, M., Rionda, M., Duhour, A. & Momo, F. (2014). Artrópodos del suelo: Relaciones entre la composición faunística y la intensificación agropecuaria. *Ecología Austral* 24:327-334. Diciembre 2014
- Equipo editorial. (23 de octubre de 2020). Índice de Simpson: Fórmula, Interpretación y Ejemplo. Liferder. Recuperado de <https://www.liferder.com/indice-simpson/>
- Espinoza, S., Olivera, M. y Ledezma, J. J. (2014). Producción del cacao y del chocolate en Bolivia. Datos 2010-2013 en base a encuestas a productores y empresarios chocolateros. La Paz. Conservación Internacional Bolivia y *Conservation Strategy Fund*.
- FAO en Bolivia. (2019). El cacao boliviano es seleccionado entre los mejores 50 del mundo. Recuperado de .
- Flowers, R. W. & De la Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Rev. biol. trop* vol.58 suppl.4 San José
- Fontúrbel, F. (2010). Rol de la coevolución planta-insecto en la evolución de las flores cíclicas en las angiospermas. Recuperado en 26 de octubre de 2022, de <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Fonturbel-.pdf>
- Frimpong, E., I. Gordon, P. Kwapong & B. Gemmill-Herren. 2009. Dynamics of cocoa pollination: tools and applications for surveying and monitoring cocoa pollinators. *International Journal of Tropical Insect Science* 29: 62-69.
- Fundación ECOTOP (s.f.). Agricultura para la Biodiversidad. Fundación ECOTOP. <https://solutionsearch.org/contests/entry/391>
- Gaibor, J. L. (2018). Poblaciones y porcentajes de polinización de *Forcipomyia spp* en el cultivo de cacao, en época lluviosa en la Zona de San José del Tambo. (Tesis de licenciatura). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
- Gómez, C. (2018). Identificación y cuantificación de dípteros (*Ceratopogonidae*) polinizadores de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Granja Luker (Palestina, Caldas) a través de la utilización de materia orgánica en descomposición. (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.
- González, A. M. (2018). Identificación de Insectos polinizadores del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la Finca Concepción, Municipio de Berlín, Departamento de Usulután. Tesis de licenciatura en biología. San Salvador.
- González-Valdivia, N.A., Casanova-Lugo, F. y Cetzal-Ix, W. (2016). Sistemas Agroforestales y Biodiversidad. *Agroproductividad: Vol. 9, Núm. 9.* pp: 56-60
- Grajales-Conesa, J., Melendez-Ramirez, V. y Cruz-López, L. (2011). Aromas florales y su interacción con los insectos polinizadores. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1356-1367.
- Groeneveld, J., Tschardtke, T. Moser, G. & Clough, Y. (2010). Experimental evidence for stronger cacao yield limitation by pollination than by plant resources. doi:10.1016/j.ppees.2010.02.005
- Guzmán-Mendoza, R., Calzontí-Marin, J., Salas-Araiza, M. y Martínez-Yáñez, R. (2016). La riqueza biológica de los insectos: análisis de su importancia multidimensional. *Acta Zool. Mex* vol.32 no.3 Xalapa dic. 2016

- Herren, P. (2015). The pollination-ratio of cacao flowers in different production systems. FIBL- Centre Sara Ana, La Paz-Bolivia.
- Hidalgo, J.A. y Acevedo, A. (2012). Efectos de la biodiversidad en el control biológico dentro de los agroecosistemas. DOI: [10.26620/uniminuto.inventum.7.13.2012.30-35](https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.7.13.2012.30-35)
- Ibáñez, M. (2019). Cacao Boliviano para el mundo. La Razón (edición impresa). Recuperado de <https://cipca.org.bo/noticias/cacao-boliviano-para-el-mundo>
- ICCO (2016). Orígenes del cacao y su difusión por todo el mundo. Recuperado en 14 de junio de 2021 de <https://www.icco.org/growing-cocoa/>
- IICA (2008). Tecnologías de producción del cacao en Bolivia. Comité Nacional de Coordinación del Programa ACCESO en Bolivia.
- IICA (2017). Estado actual sobre la producción, el comercio y cultivo del cacao en América / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. – San José, C.R.
- Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt, (s.f.) Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad.
- Jennings, S. B., Brown, N. D. & Sheil, D. (1999). Assessing forestall canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry*, Vol. 72 No. 1
- Kevan, P. & Baker, H. (1983). INSECTS AS FLOWER VISITORS AND 1 POLLINATORS. *An Rev. Entomol* 1983. 28:407-53
- Lafuente, I., Naoki, K., Rico-Cernohorska, A., Guerra-Serrudo, F. & Pacheco, L. (2021). Diversidad de mariposas diurnas (Lepidoptera: Nymphalidae) en bosques y cultivos de cacao en un área de bosque amazónico basimontano en Bolivia. *Ecología Austral* 31:225-241 Agosto 2021
- Landeros-Sánchez, C., Moreno, J.C., Nikolskii, L. y Bakhlaeva, O. (2011) Impacto de la agricultura sobre la biodiversidad. En libro: *La biodiversidad en Veracruz: estudio de estado Volumen I* (pp.477-491)
- Limachi, M., Naoki, K. y Armengot, L. (2018). Efecto de diferentes sistemas de producción de cacao de 3-4 años sobre la composición de un ensamble de hormigas terrestres. *Ecología en Bolivia* 53(2): 113-127
- Lohse, E. (2018). Evaluación del rendimiento de seis genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*) instaladas en cinco sistemas de producción en el ensayo experimental de Sara Ana. (Tesis de licenciatura) Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia.
- López-Gómez, J., Mariaca, R., Huicochea, L., Gómez, B. y Medeiros, E. (2017). Entomofauna de importancia cultural en una comunidad maya-tseltal de Chiapas, México. <https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.2017.50.830>
- Loya-Ramírez, J.G., Garcia-Hernandez, J.L., Ellington, J. y Thompson, D. (2003). Impacto de la asociación de cultivos en la densidad de insectos hemípteros entomófagos. *INCI* v.28 n.7 Caracas jul. 2003

- Lozano-Peña, S., Vásquez-Moscoso, C.A., Rivera-Rondon, C.A., Zapata, A.M., Ortiz-Moreno, M.L. (2019). Efecto de la vegetación riparia sobre el fitoperifiton de humedales en la Orinoquía colombiana. *Acta biol. Colomb.* 24(1):67-85. DOI:<http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n1.69086>
- McAlpine, J.F., Peterson, B.V., Shewell, G.E., Teskey, H.J., Vockeroth J.R. & Wood, D.M. (1981). *Manual of Nearctic Diptera* volume 1. Canada. Agriculture Canada. Research Branch.
- McAlpine, J.F., Peterson, B.V., Shewell, G.E., Teskey, H.J., Vockeroth J.R. & Wood, D.M. (1987). *Manual of Nearctic Diptera* volume 2. Canada. Agriculture Canada. Research Branch.
- Melic, A. (2015). Introducción a la Clase Diplopoda. Órdenes Polyxenida, Polyzoniida, Platydesmida y Siphonocryptida. *Revista IDE@-SEA*, nº 23: 1-18
- Mena-Mociño, L., Pineda-Guillermo, S., Martínez-Castillo, A. M., Gomez-Ramos, B., Lobit, P., Ponce-Saavedra, J. y Figueroa-De la Rosa, J. I. (2016). Influencia del color y altura de platos-trampa en la captura de braconidos (Hymenoptera: Braconidae). *Revista Colombiana de entomología* 42 (2): 155-161
- MMAyA, (2020). Guía de identificación y monitoreo de abejas polinizadoras de la castaña amazónica en Bolivia. FAO, La Paz, Bolivia. 40 pp.
- Montero-Cedeño, S.L., Solórzano-Faubla, R., Pinagorte-Borrero, A. y Cañarte-Bermúdez, E.G. (2019). Floración y diversidad de insectos polinizadores en un sistema monocultivo de cacao. Vol. 10 N° 1. pp: 1-7. ISSN:1390-8103
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza, 84 pp.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, S. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Santa Cruz, Bolivia
- Naoki, Kazuya, Gómez, M. Isabel, & Schneider, Monika. (2017). Selección de diferentes sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao*, Malvaceae) por aves en Alto Beni, Bolivia - una prueba de cafetería en el campo. *Ecología en Bolivia*, 52(2), 100-115. Recuperado en 14 de marzo de 2021, de [http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1605-25282017000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282017000200005&lng=es&tlng=es).
- Nartshuk, E. (2011). Chloropidae from southern Sardinia (Diptera: Cyclorrhapha, Acalyptratae). *CoNsErvaZioNE habitat iNvErtEbrati* 5: 717–732.
- Núñez. L.A. (2014). Patrones de asociación entre insectos polinizadores y palmas silvestres en Colombia con énfasis en palmas de importancia económica. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia.
- Nuttman, C. V., Otieno, M., Kwapong, P. K., Combey, R., Willmer, P. & Potts, S. (2011). The Utility of Aerial Pan-Trapping for Assessing Insect Pollinators Across Vertical Strata. *JOURNAL OF THE KANSAS ENTOMOLOGICAL SOCIETY* 84(4), 2011, pp. 260-270
- Palacios-Vargas, J. (2014). Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85(Supl. ene), S220-S231. <https://doi.org/10.7550/rmb.32713>

- Perea, E. (2011). ASOCIACIÓN *Cecropia spp* (CECROPIACEAE)-*Azteca spp* (FORMICINAE: DOLICHODERINAE) EN LA RESERVA LAGUNA EL TABACAL, MUNICIPIO DE LA VEGA, CUNDINAMARCA. (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Javeriana
- Picucci, M. F. (2020). Evaluation of Local and International Cacao (*Theobroma cacao* L.) Cultivars in Monoculture and Agroforestry Systems. UNIVERSITY OF COPENHAGEN
- Poveda, D.C. (2017). INFLUENCIA DE LAS PRACTICAS AGRICOLAS SOBRE LA COMUNIDAD DE COLEOPTEROS (SCARABAEIDAE, CARABIDAE Y STAPHYLINIDAE) Y PERCEPCIONES AMBIENTALES DE LA CONSERVACION EN LA VEREDA EL VERJÓN - CERROS ORIENTALES DE BOGOTÁ, COLOMBIA. Tesis de grado para el título de Magister en Ciencias Ambientales.
- Rafael, J.A., Melo, G. A., de Carvalho, C. J., Casari, S. e Constantino, R. (2012). Insetos do Brazil. Diversidade e Taxonomia
- Ramos, R. M. (2011). Estudio de la diversidad de insectos polinizadores en sistemas agroforestales de cacao y su relación con la productividad y diversidad de especies del dosel. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Pedro de Sula, Honduras.
- Reyes-Palomino, S. & Cano, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53-64. Epub 21 de febrero de 2022. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Ríos, D. F. (2015). Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de *Theobroma cacao*. Monografía. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Rojas, F. (2019). Sistemática de vasculares superiores angiospermas. Eudicotiledoneas. *Botánica Sistemática*.
- Ruiz, B.A., Martínez, M. y Medina H. (2013). Reconocimiento de insectos potencialmente perjudiciales en *Bactris gasipaes* HBK (Arecaceae) en el corregimiento El Tapon, municipio de Tadó-Chocó, Colombia. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 39, núm. 2, agosto, 2013, pp. 198-206
- Ruiz-Guerra, B. y Aguirre-Jaimes, A. (s.f.). Plantas y hormigas: la ayuda mutua como lección de vida. INECOL. Recuperado de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/1171-plantas-y-hormigas-la-ayuda-mutua-como-leccion-de-de-vida>
- Sánchez, María del C, Figueroa, Rosana, Campos, Arístides, & Romero, Roberto. (2011). Evaluación del color y de la orientación de trampas adhesivas en la atracción de trips en siembras comerciales de vainita. *Agronomía Tropical*, 61(2), 141-148. Recuperado en 21 de marzo de 2021, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2011000200006&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2011000200006&lng=es&tlng=es)
- Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys K. ¿Que provoca el declive de los insectos? <https://www.researchgate.net/publication/336739261>

- Scheiner, S.M., Chiarucci, A., Fox, G.A., Helmus, M.R., Mcglinn, D.J. & Willig, M.R. (2011). The underpinnings of the relationship of species richness with space and time. *Ecological Monographs* 81: 195 - 213.
- Socarrás, A. (2013). Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes* vol.36 no.1 Matanzas ene.-mar. 2013
- Soria, S. (1971). La polinización del cacao por las mosquitas *Forcipomia spp.* (Díptera, Ceratopogonidae) en Palmira, Colombia.
- Théodore Munyuli, M. B. (2012). Is pan-trapping the most reliable sampling method for measuring and monitoring bee biodiversity in agroforestry systems in sub-Saharan Africa? *International Journal of Tropical Insect Science* Vol. 33, No. 1, pp. 14–37. doi:10.1017/S1742758412000379
- Torralba-Burrial, A. (2015). Orden Embióptera. *Revista IDE@ - SEA*, nº 44: 1–6.
- Valladares, F. (2006). La disponibilidad de luz bajo el dosel de los bosques y matorrales ibéricos estimada mediante fotografía hemisférica. *Ecología*, N.20, pp. 11-30
- Vásquez, V., García, L., Olaya, J. y Martínez, M. (2020). INSECTOS POLINIZADORES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE *Theobroma cacao* L. EN LA ZONA CENTRAL DEL LITORAL ECUATORIANO. doi: <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i2.389->
- Viquez, C. y De Armas, L. (2009). Parasitismo en huevos de ambliopípidos (Arachnida: Amblypygi) por moscas Chloropidae (Insecta: Diptera)
- Young AM, Schaller M, Strand MA (1984) Floral Nectaries and Trichomes in Relation to Pollination in Some Species of *Theobroma* and *Herrania* (Sterculiaceae). *Am J Bot* 71: 466–480
- Zegada Herbas, Leslie Julieta, Lafuente Cartagena, Indyra, Naoki, Kazuya, & Armengot, Laura. (2020). Variación en la composición de visitantes florales de cacao (*Theobroma cacao*) entre cinco sistemas de producción en Sara Ana, Alto Beni, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 55(3), 145-159. Recuperado en 14 de marzo de 2021, de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1605-25282020000300002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1605-25282020000300002&lng=es&tlng=es).
- Zumbado, M. A., y Azofeifa, D. (2018). *Insectos de Importancia Agrícola. Guía Básica de Entomología*. Heredia, Costa Rica. Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO). 204 pp.

## ANEXOS

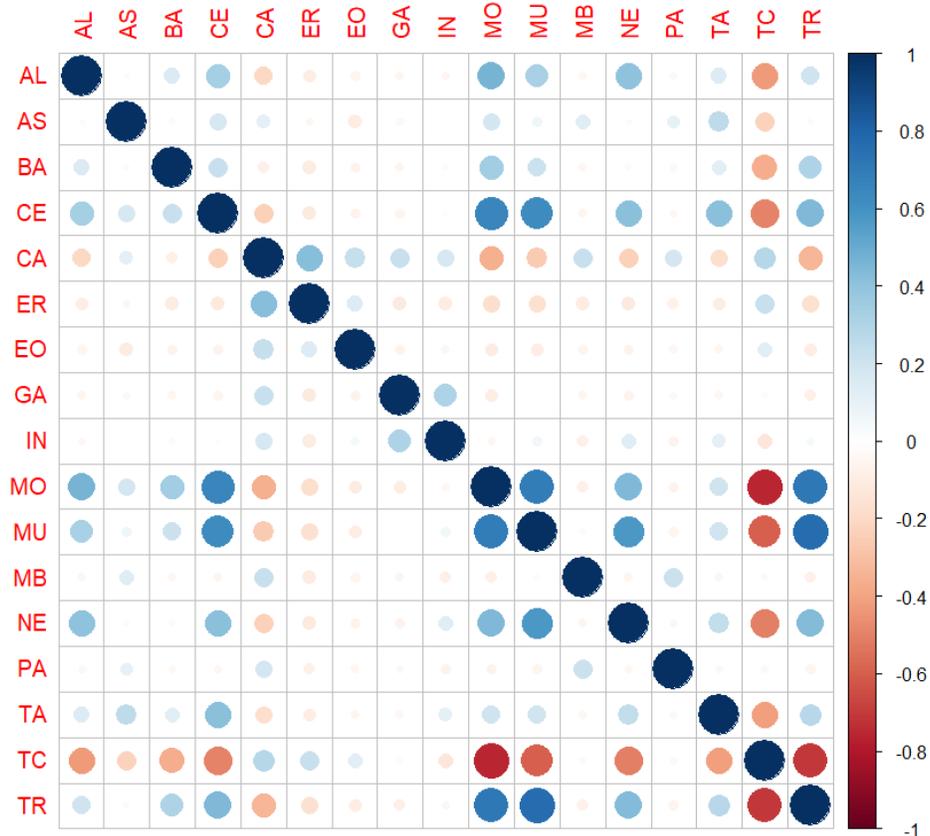
**Anexo 1:** Abundancias absoluta y relativa de los diferentes ordenes registrados en cada sistema de estudio (SA: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional, BAR: Barbecho) considerando la presencia de hormigas registradas (Formicidae).

No.	ORDEN	BAR		AC		AO		AC		MC		MO		TOTAL	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
1	Hymenoptera	486	2,42	357	7,84	434	6,57	386	7,81	301	6,72	454	7,27	2418	5,155
	Formicidae	17596	87,65	1927	42,31	2713	41,07	1684	34,07	1293	28,85	923	14,78	26136	55,722
2	Díptera	933	4,65	609	13,37	747	11,31	737	14,91	620	13,83	749	12,00	4395	9,370
3	Coleoptera	612	3,05	292	6,41	393	5,95	360	7,28	280	6,25	422	6,76	2359	5,029
4	Hemiptera	267	1,33	1073	23,56	1899	28,75	1405	28,42	1693	37,77	3267	52,32	9604	20,476
5	Thysanoptera	101	0,50	173	3,80	273	4,13	278	5,62	170	3,79	304	4,87	1299	2,769
6	Blattodea	53	0,26	14	0,31	12	0,18	21	0,42	28	0,62	19	0,30	147	0,313
7	Psocoptera	16	0,08	82	1,80	96	1,45	42	0,85	57	1,27	70	1,12	363	0,774
8	Orthoptera	9	0,04	23	0,51	34	0,51	26	0,53	38	0,85	29	0,46	159	0,339
9	Embioptera	1	0,00							1	0,02	1	0,02	3	0,006
10	Phasmatodea	1	0,00											1	0,002
11	Neuroptera			1	0,02	4	0,06	2	0,04	1	0,02	3	0,05	11	0,023
12	Ephemeroptera			3	0,07	1	0,02	1	0,02			1	0,02	6	0,013
13	Mantodea											2	0,03	2	0,004
14	Dermaptera							1	0,02					1	0,002
<b>SUMA TOTAL</b>		20075	100	4554	100	6606	100	4943	100	4482	100	6244	100	46904	100

**Anexo 2:** Análisis de correlación de las diferentes variables de estudio (FLA: Flores abiertas, FLC: Flores cerradas, HO: Hojarasca, SD: Suelo desnudo, HE: Herbáceas, FD: Frutos en descomposición, TEM: Temperatura del ambiente, HUM: Humedad relativa del ambiente).

	FLA	FLC	HO	SD	HE	FD	TEM	HUM
FLA	1	0,2554	0,4310	-0,3950	-0,1845	0,2117	0,1389	-0,1477
FLC		1	<b>0,6243</b>	-0,5741	-0,2969	0,4200	0,3789	-0,4129
HO			1	<b>-0,9217</b>	-0,3173	0,1680	0,1877	-0,2366
SD				1	-0,0572	-0,2261	-0,2266	0,2715
HE					1	-0,1722	0,0632	-0,0466
FD						1	0,0631	-0,0729
TEM							1	<b>-0,9811</b>
HUM								1

**Anexo 3:** Análisis de correlación de las diferentes especies acompañantes (AL: *Albizia sp.*, AS: *Attalea speciosa*, BA: *Bactris sp.*, CE: *Cecropia sp.*, ER: *Erythrina sp.*, EO: *Euterpe oleracea*, GA: *Garcinia sp.*, IN: *Inga sp.*, MO: Mora, MU: Musaceae, MB: *Myroxylon balsamum*, NE: Negrillo, PA: *Persea americana*, TA: Tacoara, TC: *Theobroma cacao*, TR: *Triplaris sp.*).









**Anexo 5:** Diagrama de cajas del comportamiento de las diferentes variables dependientes con la variedad de cacao.

