

**IDENTIFICACIÓN DE INSECTOS POLINIZADORES EN EL CULTIVO DE
CACAO, EN LA PLANTACIÓN LUKER AGRÍCOLA UBICADA EN VILLANUEVA
CASANARE**

NIXA FAISULLY ALFONSO VARGAS

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
2022**

**IDENTIFICACIÓN DE INSECTOS POLINIZADORES EN EL CULTIVO DE
CACAO, EN LA PLANTACIÓN LUKER AGRÍCOLA UBICADA EN VILLANUEVA
CASANARE**

NIXA FAISULLY ALFONSO VARGAS

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR
POR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

DIRECTOR:

**ÁLVARO ÁLVAREZ SOCHA
INGENIERO AGRÓNOMO**

CODIRECTOR:

**JUAN PABLO GIL RESTREPO
INGENIERO AGRÓNOMO**

**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
2022**

Nota de aceptación

Aprobado

ÁLVARO ÁLVAREZ SOCHA

Ingeniero Agrónomo
Universidad de los Llanos
Director

JUAN PABLO GIL RESTREPO

Ingeniero Agrónomo
Magister en Ciencias Agrarias
Luker Agrícola
Codirector

JORGE ALBERTO RANGEL MENDOZA

Ingeniero Agrónomo
Esp. en Gestión Ambiental Sostenible
Universidad de los Llanos
Jurado

LAURA JIMENA MARÍN ESLAVA

Ingeniero Agrónomo
Esp. en Biotecnología Agraria
Magister en Ciencias Biológicas
Universidad de los Llanos
Jurado

Villavicencio, 27/09/2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Mi madre por haberme apoyado en mi etapa universitaria, dedicándome su tiempo y amor, por sus esfuerzos y colocándome siempre en sus oraciones, a mis hermanos por el apoyo incondicional y creer siempre en mis habilidades, brindándome amor y ejemplo de superación.

A mi amado esposo, por su disposición, amor y tiempo, guiándome desde su experiencia y culminar con éxito mis estudios profesionales.

Autor

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

La empresa Luker Agrícola por permitirme realizar el estudio y desarrollo del presente trabajo en sus instalaciones y al personal de campo por su colaboración en el momento de instalar las trampas y recolectar las muestras, a la Universidad de Los llanos y sus Docentes que nos brindan conocimientos a partir de sus experiencias, dándonos bases para formarnos profesionalmente.

A los Ingenieros Agrónomos JUAN PABLO GIL RESTREPO, LAURA JIMENA MARÍN ESLAVA Y JORGE ALBERTO RANGEL por el compromiso y apoyo brindado a lo largo de los meses para la realización del presente trabajo.

Autor

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo general	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
3. REVISION DE LITERATURA	12
3.1. Cultivo de cacao	12
3.2. Importancia de los insectos polinizadores.....	14
3.3. Plan de acción e iniciativa para insectos polinizadores.....	14
3.4. Polinización del cultivo de cacao.....	15
3.5. Orden díptera.....	16
3.6. Familia ceratopogonidae	17
4. METODOLOGÍA.....	18
4.1. Localización	18
4.2. Variables y muestreo.....	18
4.3. Análisis estadístico.....	19
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
6. CONCLUSIONES.....	21
7. BIBLIOGRAFÍA.....	22
8. ANEXOS.....	24

RESUMEN

Se utilizaron 21 trampas tipo Malaise en 7 arreglos clónales (G17, Luker40, ICS1xTSH565, FEAR5, FEAR5xFSA13, FSV41 y TCS01), se analizó la correlación de variables meteorológicas como humedad relativa, precipitación, evapotranspiración y temperatura con la abundancia de individuos de los géneros *Atrichopogon* y *Forcipomyia*. Se encontró que incrementos en la precipitación, la temperatura mínima y el balance hídrico, favorecen incrementos en el número de individuos de *Forcipomyia*. En el caso de *Atrichopogon* los incrementos en el número de individuos se ven favorecidos por incrementos en la temperatura mínima y la humedad relativa, sin un efecto significativo de la precipitación.

En una plantación de cacao en etapa productiva (4 – 5 años desde la siembra), de la empresa Casa Luker, ubicada en la vereda La Camarga Leche Miel (Villanueva, Casanare) establecida a libre exposición, se evaluó la abundancia de insectos presentes en la hojarasca del cacao con énfasis en la familia ceratopogonidae (Diptera) donde varias especies han sido reportadas como polinizadoras del cultivo, y la correlación de variables meteorológicas como humedad relativa, precipitación, evapotranspiración y temperatura con la abundancia de individuos de los géneros *Atrichopogon* y *Forcipomyia*. La investigación se realizó entre septiembre de 2021 y febrero de 2022 y utilizó trampas tipo Malaise. Los muestreos y recolección de material se realizaron quincenalmente; los insectos colectados se identificaron hasta el nivel de género utilizando las claves taxonómicas de Borkent y Spinelli. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva y análisis de correlación lineal de Pearson. La investigación encontró que los incrementos en la precipitación, la temperatura mínima y el balance hídrico, favorecen incrementos en el número de individuos de *Forcipomyia* y *Atrichopogon*, mientras que incrementos en las temperaturas media y máxima e incrementos en la evapotranspiración se relacionan con disminuciones en las poblaciones de *Forcipomyia*, pero no en *Atrichopogon*.

ABSTRACT

Twenty-one Malaise-type traps were used in 7 clonal arrangements (G17, Luker40, ICS1xTSH565, FEAR5, FEAR5xFSA13, FSV41 and TCS01), the correlation of meteorological variables such as relative humidity, precipitation, evapotranspiration and temperature with the abundance of individuals of the genera *Atrichopogon* and *Forcipomyia* was analyzed. It was found that increases in precipitation, minimum temperature and water balance favor increases in the number of *Forcipomyia* individuals. In the case of *Atrichopogon*, increases in the number of individuals are favoured by increases in minimum temperature and relative humidity, without a significant effect of precipitation.

At the cocoa plantation productive stage (4 to 5 years from sowing), the Casa Luker company located in Village of La Camarga Leche Miel (Villanueva, Casanare) was established with free exposure, and the abundance of insects present in the cocoa litter with emphasis on the family Ceratopogonidae (Diptera) where several species have been reported as crop pollinators, and the correlation of meteorological variables such as relative humidity, precipitation, evapotranspiration and temperature with the abundance of individuals of the genera *Atrichopogon* and *Forcipomyia*. The investigation was carried out between September 2021 and February 2022 and used Malaise-type traps. Sampling and collection of materials were carried out fortnightly; the collected insects were identified to the genus level using the Borkent and Spinelli taxonomic keys. The information was analysed using descriptive statistics and Pearson's linear correlation analysis. The investigation found that increases in precipitation, minimum temperature, and water balance favor increases in the number of *Forcipomyia* and *Atrichopogon* individuals, while increases in mean and maximum temperatures and increases in evapotranspiration are related to decreases in the populations of *Forcipomyia* but not in *Atrichopogon*.

1. INTRODUCCIÓN

El cacao es cultivado en regiones con clima cálido y húmedo y se cultiva en alrededor de cincuenta países ubicados en cuatro continentes: América, Asia, Oceanía y África (Arvelo et al., 2017), en Colombia para el año 2021 se alcanzó una producción de cacao seco de 69.040 toneladas, producidas en 188.370 hectáreas (González, 2022), exportándose para el año 2020 11.148 toneladas a más de 70 países en el mundo, teniendo como principales destinos México, Italia, Bélgica, Holanda, Argentina y Estados Unidos (Minagricultura, 2021). La actividad cacaotera representa el sustento económico de 65.341 familias aproximadamente, generando empleos directos e indirectos de 167.00 personas (Minagricultura, 2021).

Uno de los procesos más importantes en cualquier cultivo es la polinización, ya que permite la formación del fruto lo cual incidirá directamente en el rendimiento. A nivel mundial los principales polinizadores a nivel mundial son las abejas y abejorros, colibríes y murciélagos, en el cultivo de cacao ésta es estrictamente entomófila debido a la morfología de la flor, en este cultivo las flores crecen en el tallo, originando inflorescencias en cojines florales, su flor es hermafrodita con un tamaño de 1 a 2 cm de diámetro, pentámera (corola con 5 pétalos y 5 sépalos) y sus pétalos son alternos fusionados a los sépalos siendo de color blanco o rosado, 10 estambres y un ovario súpero (Alvarado et al., 2017).

El cultivo del cacao tiene dos picos de cosecha en el año, donde después que empiecen a aparecer las flores y sean polinizadas pasan 6 meses para que pueda ser cosechada la mazorca, pero el polen de la flor de cacao es demasiado pegajoso haciendo poco probable que sea diseminado por el viento y pueda llegar al ovario de la flor. Especies pertenecientes a los géneros *Forcipomyia*, *Atrichopogon* y *Dasyhelea* (Diptera: Ceratopogonidae) son los encargados de realizar la polinización, ellos entran a jugar con la edad y condición de la flor ya que la viabilidad del polen es de 48 horas aproximadamente, cayéndose la flor pasado este tiempo (Arvelo et al., 2017)

Casa Luker incursiona en el cultivo comercial del cacao en el Municipio de Villanueva Casanare. Sin embargo, la experiencia significativa en el manejo del cacao se ha generado en el interior del país. Uno de los aspectos más importantes que requiere aprendizajes y validaciones es el manejo de la polinización de la flor de cacao, pues de ella depende la producción y rentabilidad del cultivo.

La empresa Luker Agrícola utiliza un sistema de trapeo de especies de insectos polinizadores que le permiten identificar cuáles son las especies de insectos que contribuyen a la polinización. Validar el sistema de trapeo garantiza la certeza estadística y científica de los estudios sobre la fluctuación poblacional de especies de insectos polinizadores y su dinámica en el tiempo. Así, en la validación se pueden identificar especies polinizadoras, el comportamiento de las trampas de polinizadores y el establecimiento de indicadores de monitoreo, seguimiento y evaluación de los agentes polinizadores.

El rendimiento promedio del cultivo de cacao en Colombia se encuentra por debajo de los 500 kg/ha/año sin embargo, el potencial del cultivo supera los 2000 kg/ha/año, en Casanare para el 2017 tenía un rendimiento de 0.5 ton/ha, mientras que Arauca tenía 0.6 y el Huila 0.66 ton/ha. Sin embargo, el máximo rendimiento por hectárea en Pueblo Rico, Risaralda con 1 ton/ha (agronet, 2017). Entre las causas de la baja productividad se encuentra el uso de materiales híbridos improductivos, baja densidad poblacional (Fedecacao, 2012), problemas fitosanitarios (Bailey y Meinhardt, 2016), falta de sistemas de riego (Carr y Lockwood, 2011) y deficiencias en la polinización, donde dípteros de la familia Ceratopogonidae tienen un papel protagónico. Este estudio busca generar conocimiento sobre la dinámica de los dípteros polinizadores del cacao en la como base para generar estrategias que incrementen la eficiencia en la polinización del cultivo.

El estudio se desarrolló en la plantación de Luker Agrícola ubicada en Villanueva Casanare que cuenta con 816 hectáreas en producción de cacao *Theobroma cacao L.* y 74 hectáreas sembradas en el año (2021), de igual forma cuenta con 2.394 hectáreas de cultivo de palma de aceite *Elaeis guineensis*, esta zona de Casanare tiene un clima tropical que es adecuado para la producción de los dos cultivos, inicialmente se aprovechó durante los dos primeros años de siembra del cultivo de cacao el sombrero de la palma adulta de 28 años de edad, siendo este un sistema agroforestal temporal, ahora el cultivo de cacao se encuentra a libre exposición solar.

En la plantación se maneja un sistema de policultivos ya que se tiene en producción los cultivos de cacao, palma junto con algunos maderables como la *Acacia mangium*, *Cariniana pyriformis* y *Anadenanthera peregrina*, vegetación arbustiva y plantas nectaríferas *Heliotropium indicum*, *Urena lobata*, *Stachytarpheta cayennensis*, *Hyptis capitata*, *Sida rhombifolia* entre otras. En la zona de Casanare en ecosistema proviene de sabanas inundables y en la plantación de Luker Agrícola se tienen ecosistemas mixtos como ecosistema acuático ya que por la plantación pasan los caños leche miel y aguacalara, cuenta con ecosistemas boscoso y áreas de alto valor de conservación (AVC) protegidas, generando una alta diversidad de insectos polinizadores, plaga y depredadores para los cultivos. Para el caso del cultivo de cacao se han encontrado dípteros polinizadores pertenecientes a la familia ceratopogonidae

Por ello, el proyecto indaga directamente sobre los procesos de monitoreo y seguimiento de los agentes polinizadores del cultivo de cacao, para saber si este protocolo se adapta a las condiciones de la zona, y, a partir de ello, reconocer los insectos polinizadores presentes, determinar si son nuevas especies o son las mismas especies encontradas en otros agroecosistemas, conocer la fluctuación poblacional de estos insectos; correlacionar la presencia de insectos con las condiciones climáticas y estimar el efecto que tienen los arreglos del cultivo con la presencia de polinizadores

El proyecto se justifica debido a que se incursiona en la producción de cacao en el piedemonte del departamento del Casanare y se requiere disponer de datos sobre agentes polinizadores, que permitan planificar las acciones de polinización asistida, ajuste de labores agronómicas, identificación de estrategias de conservación de especies polinizadoras y sus hábitats.

De esta manera se generan beneficios tecnológicos, al disponer de esta tecnología validada; beneficios económicos dado que permitirá planificar y ejecutar los programas de polinización ajustados a las condiciones ambientales de la zona; beneficios económicos al poder hacer estudios que mejoren o incrementen la producción de mazorca y granos. Además de un beneficio técnico relacionado con la posibilidad de desarrollar investigaciones y observaciones de largo plazo sobre agentes polinizadores.

- Permite validar el desarrollo tecnológico generado por Casa Luker en el interior del país.
- La identificación de insectos polinizadores nativos de la flor del cacao favorece el diseño de sistemas de protección de la biodiversidad funcional. Además, del potencial reconocimiento de nuevas especies de insectos polinizadores.
- Determina si el diseño de cultivo y los arreglos agroforestales utilizados en la plantación están permitiendo albergar especies de insectos polinizadores.
- Conocer si existe relación entre el clima y la fluctuación poblacional de insectos polinizadores
- Avanzar en el reto de generar tecnologías sostenibles para la producción de cacao en Villanueva.

Los insectos juegan un papel importante para la polinización de muchos cultivos haciendo llegar la cantidad de polen adecuada para que pueda fecundarse la flor, sin embargo, en el cultivo de cacao los porcentajes de polinización son bajos y los dípteros pertenecientes a la familia Ceratopogonidae son los encargados de realizar la polinización, ya que la estructura de la flor es compleja impidiendo la autopolinización, pues las anteras recurvadas hacia afuera están rodeadas por cogullas de los pétalos y separadas del estigma por los estaminodios, la flor mide aproximadamente 2 centímetros limitando su polinización por algunos polinizadores debido a su tamaño, estas flores solo las encontramos abiertas en horas de la mañana para efectuar la polinización y si no se realiza, cae la flor, su polen es funcional por tres días, algunos clones son auto incompatibles, la flor es hermafrodita y entomófila (Armijos et al., 2020).

El municipio de Villanueva cuenta con varios cultivos de cacao *Theobroma cacao L.* sin embargo no se ha hecho un estudio a fondo sobre estos insectos de interés en el cultivo, teniendo en cuenta la importancia de conocer el porcentaje de dípteros polinizadores en el cultivo de cacao *Theobroma cacao L.* Para asociarse un poco más con estos dípteros pertenecientes a la familia ceratopogonidae se desarrolla este estudio analizando los géneros de polinizadores presentes en el cultivo de cacao ubicado en la plantación Luker Agrícola mayormente reportados para la polinización de éste en Centroamérica.

Menos del 10% de la flores del cacao son polinizadas y tan solo el 0.01% del total se convierten en frutos cosechados (Armijos et al., 2020). Teniendo en cuenta lo anterior, la polinización es uno de los factores limitantes para la productividad del cacao. El estudio de la fluctuación poblacional de los dípteros polinizadores puede aportar información para generar prácticas de manejo

agronómico que favorezcan el incremento de las poblaciones de polinizadores durante los picos de floración del cultivo de cacao

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Validar la metodología para la identificación y monitoreo de insectos polinizadores del cultivo del cacao en el municipio de Villanueva, Casanare.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar los insectos polinizadores del cacao presentes en la hojarasca del cultivo
- Comparar el comportamiento de la población de insectos polinizadores con las condiciones climáticas.
- Determinar el efecto de los arreglos clonales sobre los insectos polinizadores

3. REVISION DE LITERATURA

3.1. Cultivo de cacao

El árbol de cacao (*Theobroma cacao*) es originario de las selvas neotropicales en el triángulo amazónico entre Colombia, Ecuador y Perú, actualmente la zona donde se cultiva se ha extendido por la zona tropical y subtropical de Centro y Sur América, África occidental y Asia suroccidental, demostrando que el rango de temperatura es mayor al de su hábitat natural (Osorio et al., 2017). El cacao pertenece a la familia Malvaceae, siendo un árbol ramificado con hojas simples y fruto indehiscente carnoso conocido comúnmente como mazorca (Dostert et al., 2012). El cacao se cultiva a elevaciones bajo los 300 msnm y en ambientes boscos puede alcanzar altitudes de los 900 msnm, la temperatura promedio mensual comprende entre los 15°C y 30°C (Barazarte et al., 2008), generalmente este cultivo se asocia con sistemas agroforestales (SAF) que, además de ser biodiversos hospeda poblaciones importantes de insectos.

En la flor del cacao la entomofauna juega un papel importante ya que la estructura de la flor corresponde a una flor especializada, crece sobre todo el árbol y puede tener por cosecha una producción total de 10.000 a 60.000 flores, esta inflorescencia en su formación y crecimientos se transforma en una masa densa que cuando se desarrolla formar un cojín floral que agrupa entre 40 a 60 flores (Fotografía 1) (Bastidas, 2009), su polen es muy pegajoso e incoloro por tal atrae a pocas especies de insectos estableciendo un método de mutualismo donde la flor crea el néctar en poca cantidad y en lapsos de tiempo cortos para insectos diurnos que son diminutos, quienes realizan el proceso de polinización cuando la flor esta apta para ser fecundada, debido a la estructura de la flor la entomofauna es reducida y está compuesta por alrededor de 34 especies de insectos, siendo los insectos pertenecientes al orden Díptera familia Ceratopogonidae quienes abarcan alrededor del 75% de polinizadores en el cacao y al menos tres géneros de esta familia son los que en mayor porcentaje hacen la polinización, *Atrichopogon*, *Forcipomyia* y *Dasyhelea* donde la polinización en mayor cantidad es realizada por *Forcipomyia* spp (Alvarado et al., 2018).



Fotografía 1. Formación de cojín floral, flores y pepinillos incipientes (fuente: Nixa Alfonso)

Existe mundialmente una gran cantidad de variedades y existían dos tipos de cacao: criollo y forastero, actualmente el cruce de estas dos especies dio origen al tipo trinitario. El tipo criollo o dulce se centra en Centroamérica, Colombia y Venezuela, su forma es alargada de punta pronunciada, granos grandes y gruesos con un su sabor suave y aromático, obteniéndose chocolate de gran calidad (Arvelo et al., 2017), este tipo de cacao es escaso en Colombia y es propenso a enfermedades, el forastero es originario de la cuenca amazónica y producido a nivel mundial, es el más común, la mayoría de cacao cultivado en Brasil, África Occidental, América Central y el Caribe pertenece a este grupo de cacao, cerca del 80% de la producción mundial de cacao pertenece al grupo forastero, por último el grupo de cacao trinitario se da gracias al cruce entre forastero y criollo, este grupo es muy heterogéneo genéticamente y morfológicamente muy polimorfo, haciendo difícil su delimitación a través de características comunes (Dostert et al., 2012). Normalmente las plantas son extremadamente robustas con frutos verdes y semillas violetas claro u oscuro, del 10 al 15% de la producción mundial es originario de las formas trinitarias. En la literatura sistemática se reconocen simultáneamente dos subespecies de *Theobroma cacao*: *Theobroma cacao* L subespecie. *cacao* y *Theobroma cacao* L subespecie *sphaerocarpum*, donde las razas y cultivares de la subespecie *cacao* está el grupo Criollo y en la subespecie *sphaerocarpum* están los del grupo forastero (Dostert et al., 2012).

3.2. Importancia de los insectos polinizadores

A nivel mundial el 80% de los productos producidos en el campo la principal polinización es la animal, aumentando la cantidad y calidad, el principal polinizador a nivel mundial es la abeja, pero no para todos los cultivos, siendo de gran conservación pero se debe encontrar el balance correcto entre polinizadores silvestres y manejados, para mantener una excelente cosecha, pero los cambios del uso de tierra como urbanización e intensificación de la agricultura están afectando negativamente la población de polinizadores locales a nivel mundial (Jaramillo y Maus, 2018), implementando un rango de medidas de prevención a polinizadores ayudaría a mantener esta diversidad, implementando una fuente de alimento, peldaños (necesarios para conectar áreas naturales o semi naturales) y proporcionar lugares de anidación y refugio.

Está claro que las abejas y demás polinizadores desempeñan un papel fundamental en los sistemas agrícolas para mantener e incluso aumentar la producción y cosecha de los cultivos a nivel mundial (Prado et al., 2018), siendo necesario implementar medidas de conservación, resaltando la gran diversidad de polinizadores para cada cultivo y región en el mundo.

3.3. Plan de acción e iniciativa para insectos polinizadores.

Actualmente Colombia es uno de los países más biodiversos generándole un reto frente a la polinización, teniendo numerosos cultivos, desde pancoger hasta cultivos tecnificados, en sus diferentes regiones encontramos cultivos de ají, aguacate, papa, piña, café, cacao, plátano, soya, maíz, arroz, etc, teniéndose bastante información sobre sus técnicas de manejo, requisitos agronómicos, control fitosanitario, técnicas de cosecha, pero sobre los agentes polinizadores es reducida la información, utilizándose *Apis mellifera* como polinizador, cubriendo las necesidades de los cultivos, sin tener una mayor información sobre los principales insectos polinizadores para cada cultivo.

Dentro de los servicios de regulación está la polinización para cultivos y áreas naturales de manera gratuita realizada por abejas, abejorros, moscas, escarabajos, colibríes, murciélagos, mariposas y polillas, viéndose afectadas por acciones antrópicas, dado que los polinizadores son un componente esencial en la biodiversidad y si su población es reducida se verá directamente afectado el sector agrícola del país. A inicio del año 2019 el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la CAR Cundinamarca y el Instituto Alexander von Humboldt, realizaron la presentación oficial del documento de la Iniciativa Colombiana de Polinizadores, donde su finalidad es fomentar y orientar la gestión del servicio ecosistémico, la conservación de insectos polinizadores y polinización natural, haciendo énfasis en la importancia de los diferentes grupos de polinizadores presentes en el país.

Los organismos encargados de la polinización visitan las flores haciéndolo de manera obligada o facultativa para la obtención de alimento (polen y néctar), algunos de estos organismos polinizadores duermen en la flor y al hacerlo se impregnan de polen (gameto masculino de la flor) para después ser depositado en el estigma (órganos femeninos de la flor). Tanto la producción de semillas para garantizar la reproducción de las futuras generaciones de plantas, como la variabilidad genética, promovida por la polinización cruzada, son dos de las razones por las cuales se considera a los polinizadores como vitales para el mantenimiento de la diversidad vegetal y del funcionamiento de los ecosistemas (Wilcock y Neiland, 2002).

3.4. Polinización del cultivo de cacao.

La polinización ocurre cuando los granos de polen (célula masculina) que se originan en la parte masculina de la flor llamada estambre pasan a la parte femenina de la flor llamada estigma y finalizando cuando el polen logra fecundar exitosamente el óvulo de la misma flor u otra flor (Toledo-Hernandez et al., 2017). Se ha podido identificar que la polinización en el cultivo de cacao es realizada por insectos del Orden Díptera pertenecientes a la familia Ceratopogonidae, géneros *Forcipomyia*, *Atrichopogon* y *Dasyhelea*, siendo más abundante el género *Forcipomyia* (Fotografía. 2), ciertas especies del género *Forcipomyia* están especializadas para realizar la polinización de la flor del cacao debido a sus características morfológicas, su tamaño y disposición de setas en diferentes partes de su cuerpo (Arvelo et al., 2017). El proceso de polinización es dado cuando la flor ocasiona un proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde, al siguiente día en horas de la mañana la flor está completamente abierta y las anteras están cargadas de polen viable para la polinización (Dostert et al., 2012), los dípteros encargados de la polinización son atraídos por las características de la flor (aromas, color, néctar), embardunando en su estructura los granos de polen que después son transportados y depositados en el estigma de la flor vecina o la misma, en el mismo árbol o del siguiente árbol.

Los insectos polinizadores del cacao habitan cerca al árbol, en lugares húmedos y oscuros como la hojarasca y cacota que queda después de la cosecha (Borkent y Spinelli, 2007), generalmente estos polinizadores no se desplazan a distancias largas, por ende, polinizan árboles cercanos a ellos.

Los factores más influyentes en la polinización es la edad y condición de la flor, el comportamiento de los mosquitos en la flor, la cantidad de polen en el insecto, tamaño, especie y sexo del insecto, comprendiendo que la viabilidad y disponibilidad del polen es de 48 horas y se va degenerando (Arvelo et al., 2017). La polinización efectiva por ceratopogónidos en el cultivo es altamente dependiente de la sincronización de las poblaciones dinámicas de los

mosquitos con los ciclos de floración en el cultivo y la abundancia de los mosquitos es relativa a la abundancia de las flores (Alvarado et al., 2018).



Fotografía 2. Insecto polinizador perteneciente al Orden díptera, familia ceratopogonidae, género *Forcipomyia* sp. (hembra) (fuente: Nixa Alfonso)

3.5. Orden díptera

Los individuos pertenecientes a la orden díptera, conocidos comúnmente como moscas y zancudos, son insectos holometábolos con metamorfosis completa y cuatro estadios de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto, los adultos de este orden presentan un solo par de alas membranosas soportadas por el mesotórax y las alas posteriores transformadas en halterios (balancines), ayudando a mantener equilibrio en el vuelo a estos insectos (Courtney et al., 2017). El aspecto que presenta como adulto es diametralmente opuesto al estado larvario, el habitat para la larva es totalmente distinto al de adulto, sus piezas bucales son picador-chupador o picador-succionador, con el labio formado una suerte de trompa compuesta por dos lóbulos carnosos (Biónica, 2021). Este orden se divide en dos subórdenes *Brachycera* y *Nematocera*, los *Brachycera* tienen una característica muy destacable y es la reducción de la segmentación de las antenas, los dípteros pertenecientes a este suborden son comúnmente conocidos como moscas. El suborden *Nematocera* se caracteriza por presentar largas antenas filiformes, multisegmentadas, frecuentemente plumosas en machos este grupo se incluye los dípteros conocidos generalmente como mosquitos (Campos y Mogi, 2011).

3.6. Familia ceratopogonidae

En la familia ceratopogonidae se han reportado alrededor de 51 géneros y 1095 especies en la región Neotropical (Borkent y Spinelli, 2007), las larvas de esta familia son depredadoras en sistemas semiacuáticos y acuáticos, desde pequeñas aperturas en el árbol y el agua sostenida por flores alimentándose de bacterias, hongos y microorganismos en descomposición (Gomez, 2019), los adultos son muy diversos y están adaptados a algún tipo de succión, siendo ectoparásitos de insectos de mayor talla, debido a que se alimentan de la hemolinfa de invertebrados o sangre de vertebrados y néctar de flores, conocidos como polinizadores en el cultivo de cacao *Theobroma cacao* L (Borkent y Spinelli, 2007). Los ceratopogónidos representan el 40.7% de los visitantes de la flor del cacao ya que por su tamaño le facilita la entrada a la flor, midiendo alrededor de 1 a 4mm, las hormigas el 21.1%, abejas y avispas el 8.1% y los hemípteros el 8.1% sin embargo, no se ha probado el potencial de muchos de estos grupos como polinizadores efectivos del cacao (Rios, 2015). Los ceratopogónidos presentan características predominantes a diferencia de las demás familias de este orden, no poseen ocelos, antenas largas con 13 flagelómeros, la mayoría de los machos presentan antenas plumosas y las hembras de esta familia presentan partes bucales prominentes para morder, en las alas se observa una ramificación que llega hasta el margen del ala (Gómez 2019). El ciclo de vida de los ceratopogónidos es de aproximadamente 41 días, durando de 3 a 4 días como huevo, en estado larval de 10 a 17 días, pupa de 3 a 4 días y siendo adulto de 12 a 16 días (Borkent y Spinelli, 2007).

Actualmente el género polinizador más efectivo es *Forcipomyia*, donde puede volar de un árbol a otro con una distancia de 60 metros y su actividad durante el día es después de las 8 de la mañana (Borkent y Spinelli, 2007), los insectos pertenecientes a este género se reproducen y cumplen su ciclo de vida en materia en descomposición, es fundamental que se mantenga la cacota y hojarasca en el cultivo para prolongar la reproducción de *Forcipomyia* (Gómez, 2018)

4. METODOLOGÍA

4.1. Localización

La investigación se desarrolló en la plantación Luker Agrícola ubicada en el municipio de Villanueva Casanare vereda La Camarga Leche Miel a una elevación de 200 msnm, actualmente cuenta con de 890 ha sembradas en cacao, cultivadas entre 2017 y 2018, tiene una precipitación promedio anual de 2770 mm, con una distribución monomodal, donde se presenta un periodo seco (balance hídrico negativo) entre diciembre y marzo. La temperatura promedio es de 25.5°C y la humedad relativa es del 82%. La temperatura, la humedad relativa, la precipitación y la radiación solar se registró con una estación meteorológica automatizada.

4.2. Variables y muestreo

Para la recolección de insectos se utilizaron trampas tipo malaise (fotografía 3) y fueron instaladas en 21 árboles de acuerdo a los arreglos clonales implementados en la plantación, los insectos recolectados fueron llevados a laboratorio para su identificación taxonómica, las cuales se hicieron quincenalmente y los individuos que presentaron características de la familia ceratopogonidae se clasificaron hasta el nivel de género utilizando las claves taxonómicas reportadas por Borkent y Spinelli (Borkent y Spinelli, 2007). Los individuos diferentes a los pertenecientes a la familia ceratopogonidae se clasificaron según el orden taxonómico. (La metodología de monitoreo y registro de polinizadores en campo a utilizar corresponde a la definida por la organización Casa Luker)



Fotografía 3. Trampa tipo “malaise” instalada en campo. (fuente: Nixa Alfonso)

4.3. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de correlación lineal de Pearson entre el conteo de individuos de *Forcipomyia* y *Atrichopogon* observados en muestreos realizados con una frecuencia quincenal y variables como precipitación, evapotranspiración y balance hídrico acumulados; temperatura mínima, temperatura promedio, temperatura máxima y humedad relativa promedio de los 15 días previos a cada muestreo. Para esto se utilizó el paquete “*Hmisc*” de R Project (R Core Team, 2022). Se considera que el coeficiente de correlación (r) es significativo cuando el *valor p* es menor que 0.05. El valor del coeficiente de correlación (r) puede tomar valores entre -1 y 1 y se interpreta como se explica a continuación:

- Cuando el coeficiente de correlación es negativo ($r < 0$) significa que un incremento en el valor de la variable X genera una disminución en el valor de la variable Y .
- Cuando el coeficiente de correlación es positivo ($r > 0$) significa que incrementos en el valor de la variable X generan incrementos en el valor de la variable Y .
- Cuando el coeficiente de correlación es igual a cero significa que no hay relación entre las variables, es decir que los cambios en la variable X no generan cambios en la variable Y .
- Cuando el coeficiente de correlación es menor que -0.6 o mayor que 0.6 y el *valor p* es menor que 0.05, se considera que la correlación tiene un valor predictivo y se podría establecer una ecuación lineal para calcular los valores de la variable Y a partir de la variable X .

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los incrementos en la precipitación, la temperatura mínima y el balance hídrico, favorecen incrementos en el número de individuos de *Forcipomyia*, con coeficientes de correlación positivos soportados por valores p menores que 0.05. Por el contrario, incrementos en las temperaturas media y máxima e incrementos en la evapotranspiración se relacionan con disminuciones en las poblaciones de *Forcipomyia*, con coeficientes de correlación negativos y valores p menores que 0.05 (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre poblaciones de dípteros polinizadores del cacao (*Forcipomyia* y *Atrichopogon*) y variables meteorológicas. Septiembre de 2021 a febrero de 2022. Villanueva, Casanare.

Variable	n= 231			
	<i>Forcipomyia</i>		<i>Atrichopogon</i>	
	r	valor p	r	valor p
<i>Forcipomyia</i>			0.080	0.252
<i>Atrichopogon</i>	0.080	0.252		
Precipitación (mm)	0.280	0.000	0.070	0.277
Temperatura mínima (°C)	0.300	0.000	0.230	0.000
Temperatura media (°C)	-0.190	0.003	-0.180	0.006
Temperatura máxima (°C)	-0.220	0.001	-0.200	0.003
Humedad relativa (%)	0.260	0.000	0.210	0.002
Evapotranspiración (mm)	-0.240	0.000	-0.240	0.000
Balance hídrico (mm)	0.280	0.000	0.090	0.189

En el caso de *Atrichopogon* se observó una tendencia similar a lo mencionado para *Forcipomyia*, donde los incrementos en el número de individuos se ven favorecidos por incrementos en la temperatura mínima y la humedad relativa, mientras que incrementos en las temperaturas media y máxima e incrementos en la evapotranspiración generan disminuciones en la población. No se encontró una correlación significativa entre el número de individuos de *Atrichopogon* y los valores de la precipitación y el balance hídrico.

En todos los casos el valor absoluto del coeficiente de correlación fue menor que 0,6. Esto significa que las correlaciones significativas observadas demuestran la variación conjunta entre las variables, pero no tienen un valor predictivo a partir de ecuaciones lineales simples.

6. CONCLUSIONES

- La metodología utilizada de recolección de insectos polinizadores en la hojarasca cacao nos permitió caracterizar la relación de la abundancia de individuos *Atrichopogon* y *Forcipomyia*, con variables meteorológicas, pero no podemos corroborar que sean visitantes florales. Para futuros estudios se recomienda realizar muestreos sobre flores abiertas de cacao, buscando identificar posibles polinizadores que no cumple parte de su ciclo de vida en el suelo.
- Durante los seis meses de monitoreos en los 7 arreglos clonales se identificaron individuos de los géneros *Forcipomyia* y *Atrichopogon* que han sido reportados como polinizadores del cacao, encontrándose en mayor cantidad el género *Forcipomyia* sp.
- Se encontró que incrementos en la precipitación, la temperatura mínima y el balance hídrico, favorecen incrementos en el número de individuos de *Forcipomyia*, en el caso de *Atrichopogon* los incrementos en el número de individuos se ven favorecidos por incrementos en la temperatura mínima y la humedad relativa, sin un efecto significativo de la precipitación.
- Se comprueba que la hojarasca es un hospedero de polinizadores. En consecuencia, el diseño de plantaciones debe considerar la producción de hojarasca.
- Los sistemas agroforestales sí influyen en la abundancia de polinizadores. De esta manera, cultivos a plena exposición solar, con bajo sombrero, pueden tener disminución significativa de polinizadores y requerir polinización asistida.
- Se recomienda continuar con investigaciones para monitorear e identificar polinizadores del cultivo de cacao en los diferentes agroecosistemas de la región Orinoquía. Además, de investigar qué tipo de hojarasca (especie de árbol) generan mejores hábitats y nichos para agentes polinizadores.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Arvelo, M. A., González León, D., Delgado, T., Maroto, S., & Montoya López, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacaoprácticas latinoamericanas* (No. IICA F01). IICA, San José (Costa Rica).
- Alvarado, D., Pérez, J., Velásquez, G., & Velásquez, M. (2017). Manual de polinizaciones controladas en cacao. *Instituto de Investigación y Desarrollo del Sur Occidente–Guatemala*.
- Carr, MKV y Lockwood, G. (2011). Las relaciones hídricas y los requerimientos de riego del cacao (*Theobroma cacao* L.): una revisión. *Agricultura experimental*, 47 (4), 653-676.
- Toledo-Hernández, M., Wanger, T. C., & Tschardtke, T. (2017). Neglected pollinators: Can enhanced pollination services improve cocoa yields? A review. *Agriculture, ecosystems & environment*, 247, 137-148.
- Alvarado Aguayo, A., Carrera Maridueña, M., & Morante Cajilema, J. (2018). Importancia de la Mosquilla *Forcipomyia* spp. en la polinización y producción del cultivo de cacao. *Desarrollo local sostenible*, (diciembre).
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. I., Weigend, M., & Luebert, F. (2012). Hoja botánica: Cacao. *Theobroma cacao* L.
- Barazarte, H., Sangronis, E., & Unai, E. (2008). La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): una posible fuente comercial de pectinas. *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 58(1), 64-70.
- Batista, L. (2009). El cultivo de cacao. *Santo Domingo: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal*
- Osorio, M. A., Leiva, E. I., & Ramírez, R. (2017). Crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en diferentes tamaños de contenedor. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 73-82.
- Ríos Sevilla, D. F. (2015). *Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de Theobroma cacao* (Bachelor's thesis, PUCE).
- Bailey, BA y Meinhardt, LW (Eds.). (2016). *Enfermedades del cacao: una historia de viejos enemigos y nuevos encuentros*. Saltador.
- Armijos, J. F. M., Guerrero, J. N. Q., & Batista, R. M. G. (2020). Análisis de la diversidad morfológica de cacao (*theobroma cacao*. l) del jardín clonal de la Universidad Técnica de Machala. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 45-57.

Prado, M. M., García, D. G., & Sastre, R. M. (2018). Los insectos polinizadores en la agricultura: importancia y gestión de su biodiversidad. *Ecosistemas*, 27(2), 81-90.

Nates Parra, G. (2016). *Iniciativa Colombiana de Polinizadores Capítulo Abejas*.

Wilcock, C. y Neiland, R. (2002). Falla de polinización en las plantas: por qué sucede y cuándo es importante. *Tendencias en la ciencia de las plantas*, 7 (6), 270-277.

Borkent, A. y Spinelli, GR (2007). *Ceratopogonidae neotropicales (Diptera: Insecta)* (Vol. 4). Editores de Pensoft.

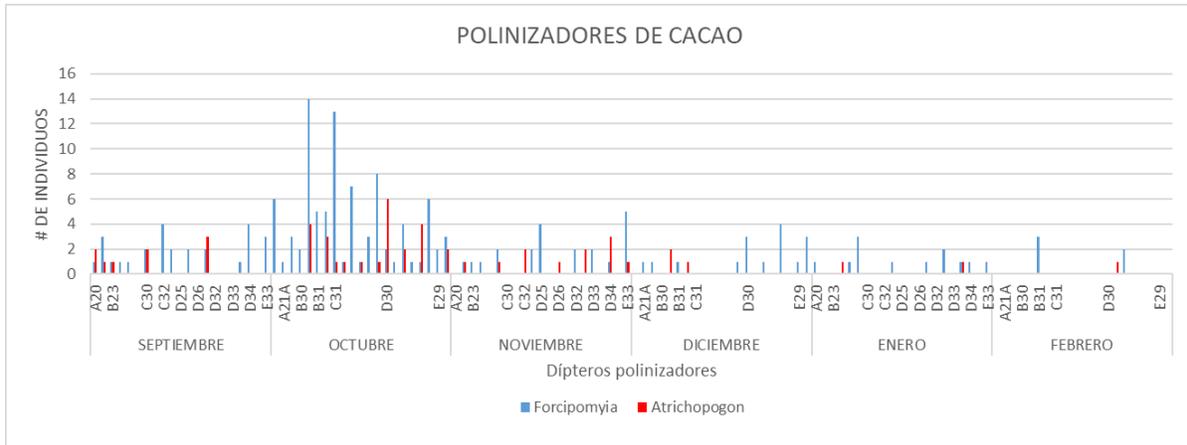
Courtney, GW, Pape, T., Skevington, JH y Sinclair, BJ (2017). Biodiversidad de dípteros. *Biodiversidad de insectos: ciencia y sociedad*, 229-278.

Campos, RE, Spinelli, G. y Mogi, M. (2011). Culicidae y ceratopogonidae (Diptera: nematocera) que habitan fitotelmas en el Parque Nacional Iguazú, provincia de Misiones, subtropical argentino. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 70 (1-2), 111-118.

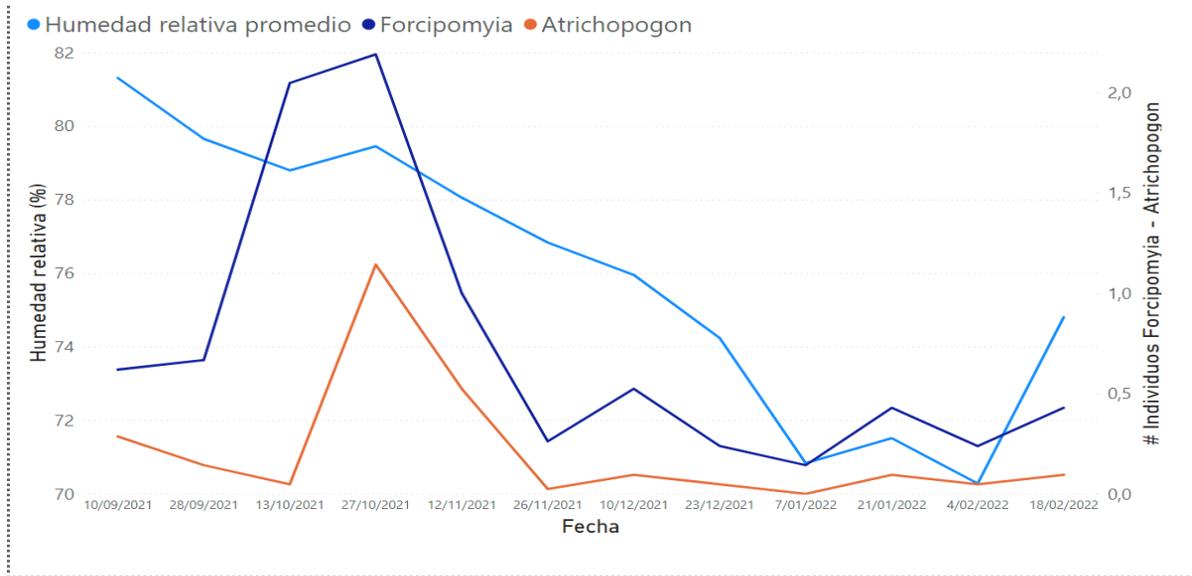
Gomez Carmona, C. (2019). Identificación y cuantificación de dípteros (Ceratopogonidae) polinizadores de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Granja Luker (Palestina, Caldas) a través de la utilización de materia orgánica en descomposición.

Gaibor Gómez, 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*” (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2018).

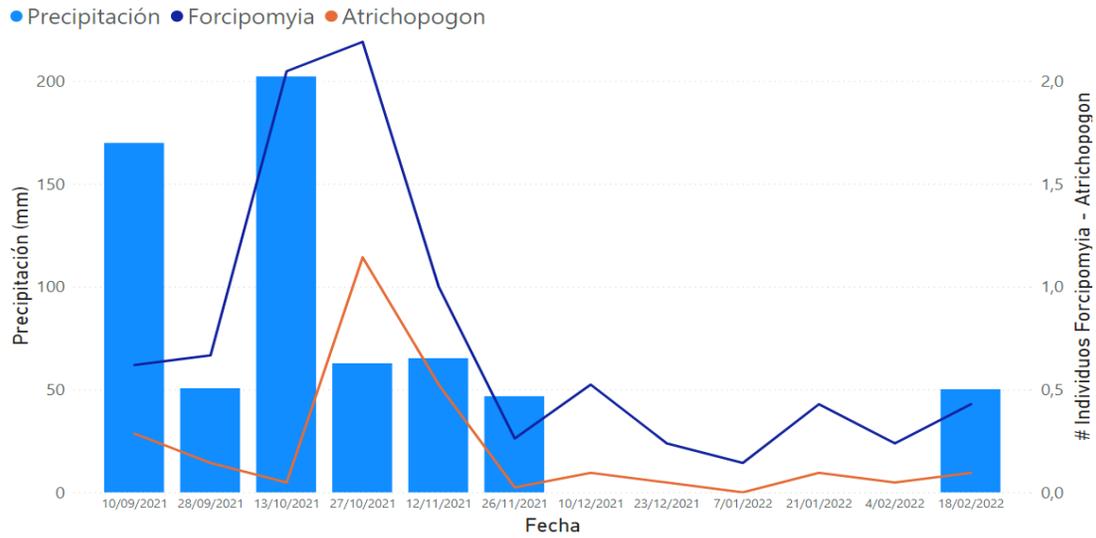
8. ANEXOS



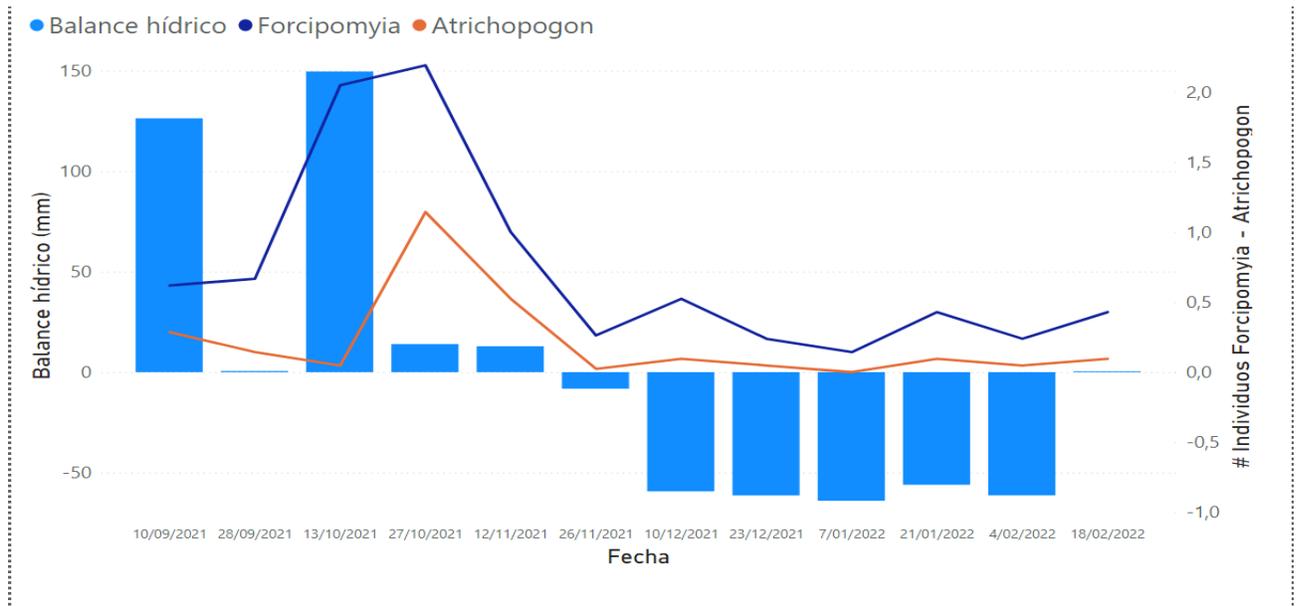
Gráfica 1- géneros *Forcipomyia* y *Atrichopogon* encontrados desde septiembre hasta febrero.



Gráfica 2- Aumento de *Forcipomyia* sp. respecto a humedad relativa.



Gráfica 3- precipitación vs polinizadores.



Gráfica 4- Balance hídrico vs polinizadores