

INCIDENCIA DE AGENTES POLINIZADORES SOBRE LA FECUNDACIÓN DE LA FLOR DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.)

INCIDENCE OF POLLINATING AGENTS ON THE FERTILIZATION OF THE COCOA FLOWER (*Theobroma cocoa* L.)

¹Vianka Stéfany García García; ¹²Ángel Monserrate Guzmán Cedeño

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí”, Av. circunvalación- vía San Mateo.
Manta

²Ingeniería Agrícola, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El
Limón, km 2½ vía Calceta-El Gramal. Calceta, Manabí. Ecuador

Email: e1755995248@live.uleam.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo de revisión

Recibido:
09/06/2022

Aceptado:
28/12/2022

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
13(2):1-12

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i2.343

Resumen

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de importancia económica distribuido en 50 países. Tiene gran connotación en el mercado internacional y la industria del chocolate. Su productividad en campo se ve limitada por condiciones bióticas y abióticas; las mismas que repercuten sobre la fecundación de la flor. Por ello, el presente trabajo de investigación documental tiene como objetivo conocer la incidencia de agentes polinizadores más eficientes sobre la fecundación de la flor del cacao. La revisión bibliográfica se basó en recopilar información de fuentes primarias que expongan resultados de estudios sobre la polinización entomófila de las flores del cultivo de cacao, dando mayor importancia a investigaciones realizadas en Ecuador. Se hizo énfasis en los factores bióticos del agro sistema del cultivo de cacao, como las especies arbóreas que favorecen el hábitat de los diferentes agentes polinizadores; entre los factores abióticos se indican: viento, agua, temperatura, humedad y suelo. En la literatura consultada se encontró que los beneficios más relevantes de la presencia de polinizadores en el cultivo de cacao son el incremento de flores fecundadas y por ende la producción de mazorcas. Se concluye que la interacción de las diferentes poblaciones de agentes polinizadores con los factores bióticos y abióticos dentro del ecosistema del cultivo favorece la producción de cacao. Por tanto es recomendable usar buenas técnicas en el manejo de la plantación para garantizar la presencia de los polinizadores.

Palabras clave: Polinización, agentes polinizadores y fecundación.

Abstract

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is a crop of economic importance distributed in 50 countries. It has great connotation in the international market and the chocolate industry. Its productivity in the field is limited by biotic and abiotic conditions; the same ones that affect the fertilization of the flower. For this reason, the objective of this documentary research work is to know the incidence of more efficient pollinating agents on the fertilization of the cocoa flower. The bibliographic review was based on collecting information from primary sources that expose results of studies on entomophilous pollination of cocoa crop flowers, giving greater importance to research carried out in Ecuador. Emphasis was placed on the biotic factors of the agro-system of cocoa cultivation, such as the tree species that favor the habitat of the different pollinating agents; among the abiotic factors are wind, water, temperature, humidity and soil. In the consulted literature, it was found that the most relevant benefits of the presence of pollinators in the cocoa crop are the increase in fertilized flowers and therefore the production of cobs. It is concluded that the interaction of the different populations of pollinating agents with biotic and abiotic factors within the crop ecosystem favors cocoa production. Therefore, it is advisable to use good techniques in the management of the plantation to guarantee the presence of pollinators.

Keywords: Pollination, pollinating agents and fertilization.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenece a la familia Malvaceae, es un árbol de importancia económica y se cultiva en 50 países ubicados en los trópicos húmedos, sus semillas se envuelven en vainas y se utilizan para la producción de chocolate, confitería y cosméticos (Abdullah *et al.*, 2021).

Ecuador es el primer productor de cacao fino de aroma a nivel mundial, pues satisface el 60% de la demanda internacional de este producto. En 2015 produjo 264 mil toneladas métricas de cacao y logró ventas por 800 millones de dólares, mientras en 2019 representó el 86% en exportaciones de cacao, convirtiéndose en el primer exportador de América con el 40%, aumentando las cifras a 315 mil Tm (Abad *et al.*, 2021). En 2022, Ecuador prevé incrementar en un 4% el volumen de las exportaciones de cacao (hasta las 375.000 toneladas), y con ello, superar los USD 1.000 millones exportados en valor (EKOS, 2022).

Las unidades de producción del cacao se encuentran particularmente en manos de los pequeños propietarios, con rendimientos que rondan los siete quintales por hectárea (Mena *et al.*, 2020), estos producen más del 80% de la demanda mundial, que cada vez exige estrictos criterios de calidad y sabor, lo cual requiere de mejores métodos y técnicas en el manejo de las plantaciones para incrementar los indicadores de productividad y calidad (Bekele y Phillips, 2019).

Vanegas (2021) indica que en el cultivo de cacao se producen pérdidas de más del 50%, debido a factores limitantes en el sistema de producción como la escasez de agentes polinizadores, que limitan el proceso de fecundación normal de la flor. Además, sostiene que la incompatibilidad sexual en el cacao sucede cuando el polen de una planta no es capaz de fecundar los óvulos de las flores de la misma planta o de otras plantas, provocando en ambos casos una baja producción. Recalca que, en una plantación, lo más importante es el número de mazorcas sanas que se cosechan; para que estas se produzcan es necesario que las flores del cacao sean fecundadas con el polen y haya un manejo adecuado del cultivo para que estas se desarrollen en forma robusta y libre de enfermedades.

De las plantas con flores que existen en el mundo, muchas de ellas son alimentos que consumimos; de las cuales, aproximadamente el 70% dependen de polinizadores para su reproducción. Se conocen tres tipos de polinización: anemófila, cuando el polen llega a las flores transportado por el viento; hidrófila, cuando el transporte lo realiza el agua; y, zoófila, cuando es realizada por un animal. La polinización zoófila (aves, murciélagos y principalmente insectos) es la más frecuente y eficaz, siendo la más importante la entomófila, realizada por insectos

polinizadores, con las abejas como su principal exponente (Carvajal, 2020).

Según Miñarro *et al.* (2018) la polinización entomófila es indispensable para la producción global de alimentos, de modo que se considera un servicio ecosistémico clave. Sostiene que estudios recientes demuestran que la magnitud del servicio de polinización depende de la abundancia y la diversidad de insectos silvestres en los cultivos. Así, las explotaciones agrícolas que albergan comunidades de polinizadores más diversas reciben un mejor servicio, porque las distintas especies de insectos se complementan y generan un efecto aditivo.

La polinización natural ha mostrado excelentes resultados con el mayor número de flores fecundadas, pues los polinizadores intervienen de manera efectiva en la polinización de las flores del cacao y otros cultivos importantes (Alvarado *et al.*, 2018). Estos autores resaltan que los agentes polinizadores se alimentan una vez que se posan en la flor del cacao, debido a la atracción que sienten por las “líneas guías” sobre sus pétalos y estaminodio (estambres estériles), que emiten una fragancia, tienen colores brillantes y pueden absorber y reflejar la luz ultravioleta.

Por otra parte, Atamia *et al.* (2016) mencionan que las flores de cacao orientadas hacia el este son más cálidas que las orientadas hacia el oeste, y esta calidez atrae a los polinizadores.

Armijos *et al.* (2020) sostienen que el género *Forcipomyia* es uno de los principales polinizadores del cacao, conocido en varias regiones del mundo, este polinizador también llamado mosquilla polinizadora pertenece al orden Diptera, de la familia Ceratopogonidae. Según Alvarado *et al.* (2018) estos insectos polinizadores inician su actividad entre las 9 a 11 de la mañana durante la época de mayor humedad; sin embargo, los factores climáticos influyen en la presencia de los insectos, también se han encontrado especies correspondientes a *Dasyhelea scissurae* de la familia Ceratopogonidae, además del género *Clinodiplosis* sp.

En estudios realizados en Costa Rica y Honduras se evidenció la diversidad de los insectos polinizadores; se encontró 9% de especímenes de la familia Ceratopogonidae, mientras que del orden Thysanoptera se encontraron entre 40 y 69%, lo cual estuvo influenciado por el número de flores abiertas y la complejidad del sistema de producción del cultivo de cacao para favorecer el hábitat de los insectos polinizadores (Zegada *et al.*, 2020; Jiménez y Antúnez, 2016). Del mismo modo, se encontraron otras especies en las flores, de las familias Formicidae, Muscidae, Scarabaeidae y Apidae, mientras tanto, no se ha reportado funcionalidad en la polinización de cacao, de las avispas, hormigas, ácaros, arañas y otros insectos (Salazar y Torres, 2017).

De acuerdo con Alvarado *et al.* (2018), la preservación del hábitat de *Forcipomyia* y otras especies de polinizadores favorecen el desarrollo de las colonias de estos insectos benéficos.

A pesar de la exhortación para la implementación de sistemas de producción sostenible, la agricultura convencional emplea plaguicidas y herbicidas para mantener los cultivos y esto afecta a las comunidades de invertebrados y por consiguiente de los polinizadores (Zegada *et al.*, 2020). Hay referencia científica de que la intensificación ecológica es una estrategia para aumentar los servicios eco sistémicos en las unidades de producción; sin embargo, todavía se conoce poco sobre la ecología y los servicios de polinización del cacao, que parecen ser claves para comprender las funciones de su rendimiento (Toledo *et al.*, 2017).

Por ello, el presente trabajo de investigación documental tiene como objetivo conocer la incidencia de agentes polinizadores más eficientes sobre la fecundación de la flor del cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recopilación de información estuvo dirigida a fuentes de información primaria que expongan resultados de investigaciones sobre la polinización entomófila de las flores del cultivo de cacao. Sobremanera, interesan las condiciones en que se manejan los sistemas de plantación de cacao en el Ecuador y en otros países con similares condiciones agroecológicas y de manejo. Las principales referencias de Ecuador son los organismos dedicados al desarrollo del sector cacaotero; entre ellos la Asociación Nacional de Exportadores e Industriales de Cacao del Ecuador (ANECACAO), el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Centros de Investigación del Sistema de Educación Superior (Universidades e Institutos), trabajos de investigadores independientes. A nivel internacional se priorizó publicaciones en bases de datos reconocidas y de libre acceso.

Con base en la revisión bibliográfica, se propuso la esquematización de la información sobre los siguientes acápite

- Factores abióticos y bióticos, que inciden en la fecundación de la flor en el cultivo de cacao.
- Relación teórica de la genética de los materiales de siembra de cacao y el proceso de polinización directa y cruzada.
- Beneficios de los agentes polinizadores sobre el sistema de producción del cultivo de cacao.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factores abióticos y bióticos, que inciden en la fecundación de la flor en el cultivo de cacao

La eficiencia reproductiva en *T. cacao* es dependiente tanto de factores genéticos (genes que controlan la autoincompatibilidad, reproducción sexual y sistema de madurez reproductiva) como de factores ambientales (aquellos que alteran la fenología de la floración y el comportamiento de los polinizadores). Para Mena *et al.* (2020) la productividad de las plantas de cacao está acorde a la dinámica poblacional de los polinizadores, independientemente del sistema reproductivo de los diferentes genotipos de *T. cacao*. Se conoce que cada cojine floral de la planta de cacao está formado por un conjunto de 40 a 60 flores, que sumado puede originar hasta 12 500 flores al año; cada flor producir alrededor de 14.000 granos de polen y hasta 74 óvulos por ovario. Sin embargo, la tasa de fertilización natural (cuajado) de la especie alcanza solo el 4% en el pico de temporada de floración que corresponde a una tasa promedio de captura de 0,3 insectos por flor, revelando así la baja población de polinizadores efectivos para la especie (Mena *et al.*, 2020).

Generalmente, si las flores de la planta de cacao son polinizadas se transforman en frutos o de lo contrario se marchitan y caen. A la vez, se requiere que todos los óvulos de la flor sean polinizados para que el fruto se desarrolle plenamente (INCYTU, 2019).

Indriati *et al.* (2021) recalcan la importancia de los árboles de sombra para proveer sombra y alimento a los insectos polinizadores y enemigos naturales de las plagas del cacao. A criterio de estos autores se ha determinado que la cama de los árboles incrementa en más del 20% la población de estos organismos. Por ello, se deben implementar buenas prácticas agrícolas.

Las cáscaras de cacao y la hojarasca son los sustratos orgánicos sobre los cuales, preferentemente se desarrollan los estados inmaduros de las especies del género *Forcipomyia*, lo cual se ha confirmado en la zona de Portoviejo-Manabí-Ecuador, donde se determinó que la mayor cantidad de “mosquillas” emergen 12 días después de que el sustrato ha empezado su proceso de descomposición (Valarezo *et al.*, 2015).

Toledo *et al.* (2021) indican que las hormigas y los dípteros son los visitantes de flores más comunes, y aunque estudios previos sugieren que los Ceratopogonidos son los principales polinizadores del cacao, ninguno fue capturado en el estudio realizado por estos autores; sin embargo, sostienen que la estabilidad de los hábitats que rodean la finca cacaotera y el aumento de la cobertura del dosel mejoraron la abundancia de hormigas y dípteros. De acuerdo con Akese *et al.* (2021) la abundancia y

diversidad de insectos es generalmente mayor en las fincas orgánicas en comparación con las fincas convencionales, esto se debe a que en las fincas orgánicas se conserva la biomasa como cubierta del suelo o mulch, que sirve de hábitat para los polinizadores. Al respecto, Suganthi (2019) menciona que, un máximo de 114 polinizadores emergen de la hojarasca descompuesta recolectada de plantaciones de cacao.

También los insumos agroquímicos y la mejora de la polinización manual son dos estrategias para aumentar los rendimientos. Se ha demostrado que con la polinización manual parcial del 13% de flores por árbol, en vez del uso de fertilizantes o insecticidas, se logra aumentar el rendimiento por árbol en 51%. La polinización manual más laboriosa del 100% de todo el árbol aumenta el rendimiento por árbol en 161%, y el ingreso neto anual del agricultor llega a ser entre 994 a 1677 USD por hectárea (Toledo *et al.*, 2020).

Se ha demostrado que la adición de cáscaras de frutos de cacao en la base de la planta y tratamientos de polinización manual aumenta el número de frutos por árbol y por ende rendimientos finales, lo que indica una promoción del servicio ecosistémico de polinización proporcionado por los polinizadores especializados, los mosquitos. También se ha determinado que con la adición de cáscara del fruto del cacao se aumentan las densidades de grupos de depredadores, tales como arañas y eslizones. Cabe mencionar que, la conservación de estos depredadores no inhibe la polinización mediante la captura o disuasión de polinizadores (Forbes y Northfield, 2017).

En el cuadro 1 se presentan los factores bióticos y abióticos, que inciden en la fecundación de la flor en el cultivo de cacao; así mismo en el cuadro 2 se referencian las familias de los potenciales polinizadores altamente especializados, efectos beneficiosos y periodo de actividad.

Cuadro 1. Factores bióticos y abióticos que inciden en la fecundación de la flor en el cultivo de cacao

Factores bióticos	Referencia	Factores abióticos	Referencia
<p>-Insectos Las flores de cacao tienen una polinización estrictamente entomófila, es decir que solamente puede ser polinizada por insectos, particularmente, por moscas diminutas pertenecientes a la familia Ceratopogonidae.</p> <p><i>Apis mellifera</i> es una especie importante para la seguridad alimentaria, responsable directa del proceso de polinización de muchas plantas nativas y cultivadas. Sin embargo, no interviene en la polinización de la flor en el cultivo de cacao</p>	(Mena, 2016; Cajamarca <i>et al.</i> , 2020; Flores <i>et al.</i> , 2021)	<p>-Viento y agua Por su forma, textura (pegajoso) y peso, el polen de la flor del cultivo de cacao no puede ser transportado por el agua o viento. Por tanto, es poco probable la polinización anemófila e hidrófila.</p>	(Loor <i>et al.</i> , 2016; Meléndez <i>et al.</i> , 2020)
<p>-Mamíferos La presencia de murciélagos en la agroforestería del cacao es de gran beneficio ecosistémico, ya que cumplen la función como controladores nocturnos de insectos plaga que atacan al cultivo de cacao. Además, con la regulación natural de las plagas hay menos uso de agroquímicos y por ende menos afectación a los polinizadores. Una de las especies más conocidas es el murciélago insectívoro, nariz espada (<i>Lonchorhina aurita</i>).</p>	(Pinel, 2021)	<p>-Temperatura y humedad La sombra evita que la planta de cacao se exponga directamente a los rayos del sol. Es muy importante que a partir de los tres años, o edad productiva de la planta, se conserve sombra entre el 25 a 30% para mantener el hábitat que beneficia la presencia de los polinizadores. Estudios realizados por INIAP, confirman la sincronía de las poblaciones de polinizadores Ceratopogonidae con los ciclos de producción de flores bajo las condiciones del Litoral ecuatoriano, y su asociación con factores como la precipitación, concentrándose estos polinizadores entre los meses de febrero a junio, favorecidos por la mayor descomposición del material vegetal en presencia de lluvias. Uno de los factores climáticos que influye en la presencia de los insectos capturados en <i>T. cacao</i> es la humedad relativa, pues se encontró una relación directa positiva entre estas dos variables.</p>	<p>Suárez-Capello <i>et al.</i>, 1994)</p> <p>(Cañarte <i>et al.</i>, 2021)</p> <p>(Armijos <i>et al.</i>, 2020)</p>
<p>- Aves Algunas aves son responsables de servicios ecosistémico, como la polinización, dispersión de semillas y controlador de plagas. En cacao no hay evidencia de polinización, pero sí del control de plagas. Esto complementa el beneficio atribuido al murciélago dentro del cultivo de cacao.</p>	(Naoki <i>et al.</i> , 2017)	<p>-Suelo Las especies del género <i>Forcipomyia</i>, tienen la tendencia a formar colonias en las cáscaras de cacao y hojarasca. Por esta razón, es clave mantener y aumentar los sitios de crianza de este mosquito, para así, estimular una mayor acción polinizadora. Un ejemplo de esto, es dejar las cáscaras de cacao regados uniformemente sobre el suelo, a lo largo de la plantación.</p>	(González, 2017; Cedeño <i>et al.</i> , 2019)

Cuadro 2. Principales agentes polinizadores en el cultivo de cacao, efectos beneficiosos, periodo de actividad.

Entomofauna		Descripción	Periodo de actividad	Distribución	Beneficios	Referencia
Familia	Género/Especie					
Ceratopogonidae	<i>Forcipomyia</i> sp	Pertenece al orden díptero, estos recorren el interior de la flor de cacao en busca de néctar. Estas mosquitas se movilizan longitudinalmente por cada uno de los cinco estaminoides y eventualmente caminan dentro de cualquiera de las cinco bolsas petaloideas de la flor de cacao.	9 a 11 de la mañana durante la época de mayor humedad	Se ha reportado presencia del insecto en el continente asiático, suramericano y norteamericano. En Ecuador se encuentra principalmente en el Litoral y Amazonía.	La floración del cacao es superior en parcelas con sustrato de cáscara de cacao, además se registran aumentos en los rendimientos por hectárea.	(Montero <i>et al.</i> , 2019; Armijos <i>et al.</i> , 2020)
	<i>Dasyhelea</i> sp					
Cecidomyiidae	<i>Clinodiplosis</i> sp	Pertenece al orden díptero, vuelan por el árbol buscando flores para posarse en los pétalos, sépalos, brácteas y estaminoides, se quedan quietos en un solo lugar. Los insectos de esta familia realizan las deposiciones de sus huevos en las lígulas de las flores, trasportando directamente los conglomerados de flores hasta el estigma.	9 a 11 de la mañana durante la época de mayor humedad	Se ha reportado presencia en el continente asiático y suramericano. En Ecuador se encuentra principalmente en el Litoral y Amazonía.	Kaufmann (1973) citado por Armijos <i>et al.</i> , 2020) afirma que la polinización en T. cacao la realizan insectos de la familia Cecidomyiidae en un 40 a 90%. Por tanto, a mayor cantidad de flores fecundadas, con estos polinizadores u otros, mejores cosechas.	Armijos <i>et al.</i> , 2020) (Tarmadja, 2015; Salazar y Torres, 2017)
Formicidae	<i>Wasmannia</i> sp	Pertenece al orden Himenóptera, algunos viven en simbiosis con especies del orden hemíptero. Se alimentan del follaje y son depredadores de áfidos	Se pueden encontrar tanto en épocas de mayor humedad como en la época seca	Se ha reportado presencia del insecto en el continente asiático, europeo y suramericano.	Se le considera un visitante, ayuda con la biodiversidad y es un controlador de plagas. Esto reduce el uso de agroquímicos que afectan la población de polinizadores.	(Koch <i>et al.</i> , 2020)
	<i>Solenopsis</i> sp					
	<i>Crematogaster</i> sp					
	<i>Monacis</i> sp					
Aphididae	<i>Toxoptera</i> sp	Pertenece al orden Homóptera, tienen preferencia por la vegetación que crece asociada al cacao, además de tener preferencia por las flores y cojinetes florales.	Se pueden encontrar tanto en época lluviosa como en época seca, sobre todo en los meses de noviembre y diciembre	Se ha reportado presencia del insecto en el continente suramericano y norteamericano.	Se le considera un visitante y posible polinizador en flores de cacao. Sin embargo, gran cantidad de estos insectos son considerados plagas y puede defoliar los cultivos.	(González, 2018; Ríos, 2015)
	<i>Aphis</i> sp					
Thripidae	<i>Heliothrips Haemorrhoidalis</i>	Pertenece al orden Tisanóptera, poseen una gran preferencia por la vegetación que crece asociada al cacao, por ello habitan en las coberturas del suelo alrededor de estos árboles, se posan en las flores y prefieren los cojinetes florales.	Se pueden encontrar tanto en época lluviosa como en época seca	Se ha reportado presencia del insecto en el continente asiático, europeo y suramericano.	Se le considera un visitante y potencial polinizador en flores de cacao, que podría incrementar la productividad del cultivo. Sin embargo, algunos son defoliadores.	(González, 2018; Valarezo <i>et al.</i> , 2015).
Apidae	<i>Apis mellifera</i>	Pertenece al orden Hymenoptera, se sienten atraídos las flores y prefieren los cojinetes florales, se alimentan del néctar de estas.	Se pueden encontrar tanto en época lluviosa como en época seca	Se ha reportado presencia del insecto en el continente suramericano y norteamericano.	Cumplen función eco sistémica en el cultivo de cacao	(Antúnez., 2018)
	<i>Mellipona</i> sp					
	<i>Xylocopa</i> sp					
	<i>Trygona</i> sp					

Cañarte *et al.* (2021) indican que la flor del cacao es hermafrodita, presenta un pequeño tamaño, con una longitud de 1-3 cm y un diámetro entre 0,5-1 cm. Está sostenida por un pedúnculo corto (1 a 2 cm). La flor se abre de 20 a 25 días luego de aparecer el diminuto botón floral, posteriormente el polen se mantiene viable por tres días; sin embargo, una gran cantidad de flores no alcanza a ser polinizada, por lo que se secan y caen al cabo de 48 horas como se observa en la figura 1.

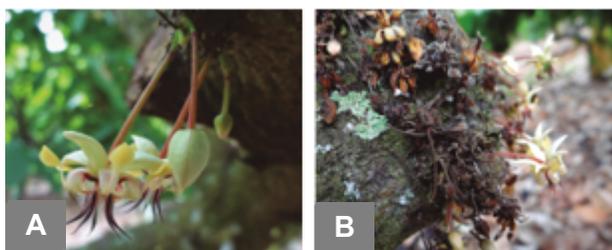


Figura 1. Apertura de la flor de cacao (A); Abundancia de flores secas por falta de polinización (B). Tomada de Cañarte *et al.* (2021),

Las flores de cacao tienen formas diferentes en comparación con las flores en general. Las flores de cacao tienen diferentes estaminodios, como se muestra en la figura 2. Estos estaminodios son similares a los estambres, que es la parte masculina de la flor, pero no contienen polen y, por tanto, son estériles. Solo pequeños insectos en la base de la flor pueden alcanzar las anteras productoras de polen escondidas debajo de una capucha, se ha comprobado que las variantes de flores de estaminodio convergentes y paralelas eran los tipos ideales de flores de estilo estaminodio para una polinización exitosa (Syafruddin *et al.*, 2021).



Figura 2. Tres variantes de flores de cacao, se puede observar (A) Convergente, (B) Paralela y (C) Splay. Tomada de Syafruddin *et al.* (2021).

Vera *et al.* (2016) mencionan que, la planta adulta de cacao bajo condiciones normales puede producir de 6.000 a 10.000 flores por año, de las que solo el 0,01% llegan a transformarse en frutos. El “cuajamiento o fecundación” puede ser aún más bajo por la falta de insectos polinizadores, pero también existen otros factores como la edad del material, la incompatibilidad, el exceso de sombreado, que influyen directamente en la fructificación, por ello se ha practicado desde hace más de una década métodos de polinización asistida que ayudan a incrementar rendimientos del cacao CCN-51 y cacao fino

de aroma, cuando se cuenta con una baja población de insectos polinizadores u otros problemas en el cultivo. Las polinizaciones artificiales y manuales, aplicando presión de aire al tronco, se muestra en la figura 3, estas ayudan a conseguir un incremento de flores fecundadas existiendo significancia estadística; sin embargo, el método no influye sobre la producción final en cacao (Vera *et al.*, 2016).

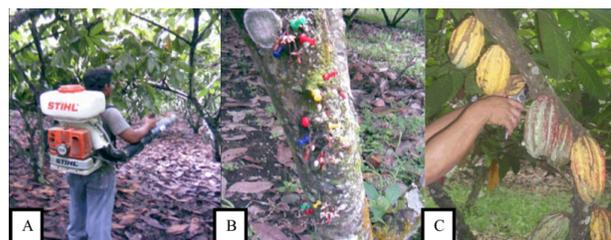


Figura 3. Polinización artificial aplicando presión de aire al tronco y ramas a 1,5 metro del suelo (A). Flores fecundadas polinización manual artificial (7 días) (B). Cosecha de frutos sanos (6 meses) (C). Tomada de Vera *et al.* (2016).

Salazar y Torres (2017) mencionan que, en el cacao, la polinización es llevada a cabo casi exclusivamente por micro dípteros de la familia *Ceratopogonidae*, entre los cuales, ciertas especies del género *Forcipomyia* se encuentran altamente especializadas para polinizar las flores del cacao debido a las características específicas de la estructura morfológica del insecto, además de especies de la familia *Cecidomyiidae* como insectos especializados en brindar el servicio de polinización de cacao, en la figura 4 se pueden observar especímenes de las familias mencionadas.

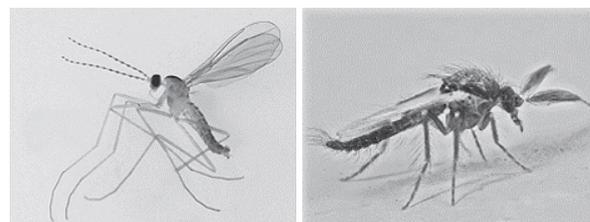


Figura 4. Del lado izquierdo se puede observar una especie de la familia *Cecidomyiidae*; del lado derecho se puede observar una especie de la familia *Ceratopogonidae*. Tomada de Salazar y Torres (2017).

Cañarte *et al.* (2021) realizaron colectas en los sistemas de producción y establecieron que insectos del orden Díptera se presentan en mayor abundancia en los sistemas cacaoteros del litoral ecuatoriano. Entre un total de 220.166 adultos colectados durante los últimos seis años hasta el 2020, determinaron que el 52% de especímenes correspondían a la familia *Ceratopogonidae*, destacándose según los análisis faunísticos, por ser poblaciones muy dominantes, muy abundantes y muy frecuentes durante todo el año, como se observa en la figura 5.

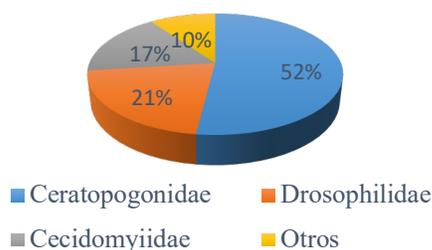


Figura 5. Distribución de especímenes de varias familias de insectos presentes en los sistemas de producción de cacao en Ecuador. Tomada de Cañarte et al. (2021).

Según Zegada *et al.* (2020) el orden Thysanoptera suele ser considerado como posible polinizador. En sus estudios han observado que la dinámica poblacional estuvo influenciada por el número de flores abiertas y la complejidad del sistema de producción, siendo mayor en el más complejo (agroforestal sucesional) que en los más simples (monocultivos).

En trabajo colaborativo entre INIAP-ESPAM, se reporta que se han identificado especies de polinizadores de la familia Ceratopogonidae, presentes en diversos sistemas de producción de cacao bajo las condiciones del litoral ecuatoriano. De estas se conocen siete especies del género *Forcipomyia*, tres especies del género *Dasyhelea* y dos especies del género *Culicoides* del orden Díptera (Cañarte *et al.*, 2021).

Se ha comprobado cómo las fluctuaciones anuales en el número total de flores polinizadas por *Forcipomyia* dependen del número de mosquillas presentes, debido a que su influencia mantiene una proporción directa con la floración de las plantas de cacao, con un pico principal en mayo y un pico menor en noviembre de cada año. La producción de mazorcas aumenta en plantaciones donde se protege la fauna benéfica con el escaso o nulo uso de insecticidas. La mosquilla polinizadora es muy delicada a los componentes tóxicos de los plaguicidas. En un ambiente donde se ve limitada su función polinizadora, los rendimientos del cacao pueden decaer hasta en 40% de la cosecha (Alvarado *et al.*, 2018).

Supriyadi *et al.* (2020) destacan que la actividad diurna de los insectos polinizadores, en las flores del cacao durante la temporada de floración, muestra fluctuaciones, un rápido aumento en la mañana (07:00 - 09:00) así como la actividad diurna máxima. Al mediodía (11:00 - 13:00), la actividad diurna de los insectos polinizadores disminuye rápidamente y aumenta levemente por la tarde hasta el final de la actividad.

Además, se ha comprobado como los tallos o tocón de banano es el medio preferible para el incremento de la población de polinizadores en el ecosistema del cacao. Es

por ello que al proporcionar un número apropiado de contenedores de reproducción y un medio de reproducción adecuado se aumenta la población de polinizadores, y las posibilidades de que las flores de cacao sean polinizadas aumentan para posteriormente, mejorar la productividad del cacao (Saripah *et al.*, 2017), tal cual lo demostró Adjaloo *et al.* (2017) utilizando el pseudotallo de banano con el cual se albergó el mayor número de polinizadores de cacao.

Relación teórica de la genética de los materiales de siembra de cacao y el proceso de polinización directa y cruzada

A pesar de que *T. cacao* es una especie económicamente importante para muchos países en el mundo, son escasos los trabajos relacionados con la comprensión de su biología reproductiva; algunos de estos tienen en cuenta el desarrollo y morfología floral, viabilidad del polen, polinizadores y mecanismos de autocompatibilidad y autoincompatibilidad (López *et al.*, 2018).

La incompatibilidad sexual es un fenómeno genético que según Aranzazú-Hernández *et al.* (2008), está regido por un proceso bioquímico en el proceso de reconocimiento, aceptación o rechazo del polen, lo cual puede ocurrir en el tubo polínico o en el estigma de la flor receptora, de tal manera que la compatibilidad o incompatibilidad sexual se expresa en el porcentaje de flores que son fecundadas de forma natural o manual y forman frutos viable.

Por otra parte, Arciniegas (2015) menciona que la compatibilidad es el efecto para producir gametos funcionales que constituye un parámetro que depende de la genética, que permite establecer plantaciones comerciales y enfocar los trabajos en los programas de mejoramiento genético, debido a que el rendimiento y la productividad dependen en muchos de los casos de autopolinización y polinización cruzada. Al ser auto-compatibles benefician la cruce entre ellos, si la mayoría de las selecciones en los materiales poseen esta característica, permiten que la descendencia se pueda cruzar libremente entre ellos. Es interesante apreciar características de autoincompatibilidad de clones de alto rendimiento y resistencia a enfermedades, poseen generalmente características de autoincompatibilidad y eso puede llegar a afectar plantaciones que no tengan una diversidad genética dentro de ellas. La compatibilidad se da a nivel de la misma planta (autocompatible y autoincompatible), o entre plantas circundantes (intercompatible e interincompatible); lo deseable es la primera condición, en cada caso.

En un estudio realizado por Rincón-Barón *et al.* (2021) demostraron que existen diferencias significativas en el tamaño de los granos de polen según los genotipos analizados ($P < 0.05$). Observaron que los granos de polen

con menor tamaño son los del genotipo TCS 19 (16.890 μm) y son diferentes de los demás genotipos. No se observan diferencias significativas en los genotipos SCA 6, TCS 05, TCS 13, TCS 06, CCN 51, TCS 01. Tampoco encontraron diferencias entre los genotipos SCC 61, TCS11 y SCC 19 (los de mayor tamaño). De igual forma, los genotipos TCS 11, SCC 19, TSC 01 y CCN 51 no presentan diferencias significativas.

Sin embargo, estos autores concluyen que los caracteres micromorfológicos de los granos de polen de los genotipos y su relación con los modelos de compatibilidad polínica, no tienen una relación específica, ya que observaron genotipos autoincompatibles y autocompatibles que tienen muros ornamentados y sin ornamentación; lo mismo, se cumple para los tipos de ornamentación microgranulada y escabrada presente en el lumen del retículo.

De acuerdo a Santos de Oliveira *et al.* (2015) las especies con granos de polen pequeño, por lo general, presentan abundantes almidones y una viabilidad temporal reducida, al momento de su dispersión. Por el contrario, las especies con polen de mayor tamaño, por lo general, son carentes de almidones, pero abundantes en carbohidratos solubles, e incluso lípidos y se consideran de una viabilidad temporal mayor. Lo anterior es congruente con observaciones sobre la biología de la polinización de *T. cacao*, ya que el polen es de corta viabilidad, y esta puede ser de unos pocos minutos hasta varios días (García *et al.*, 2019). No obstante, además del genotipo, factores ambientales como la humedad, la temperatura y otros factores abióticos, pueden influenciar esta situación (García *et al.*, 2020).

Por lo expuesto, en la polinización de la flor del cacao se debe considerar tanto la presencia o no de los polinizadores como la incompatibilidad sexual de los materiales de siembra, ya que este es un fenómeno genético, regido por un proceso bioquímico en el momento del reconocimiento, aceptación o rechazo del polen, lo cual se produce en el tubo polínico de la flor receptora y en algunos casos en el estigma.

Beneficios de los agentes polinizadores sobre el sistema de producción del cultivo de cacao.

Los sistemas de producción también inciden sobre la polinización, Armijos *et al.* (2020) al estudiar la diversidad y abundancia de los insectos polinizadores de *T. cacao* tipo Nacional en sistema monocultivo y sistema agroforestal, encontraron mayor dominancia de insectos en los clones CCN-51 (0,80) y C-107 (0,70), así mismo, el clon que presentó menos dominancia de insectos fue el LR-35 (0,44); sin embargo, en este clon se encontró una mayor diversidad de individuos (0,56). Sostienen que según el índice de similitud de Jaccard, hay 24% de similitud en familias de insectos entre los sistemas de

monocultivo y agroforestal, en el cual el sistema de monocultivo mostró mayor presencia de especies de insectos. En ambos sistemas de producción encontraron especies de las familias: Scarabeidae, Curculionidae, Staphylinidae, Drosophilidae, Cecidomyiidae y Formicidae.

Martins *et al.* (2015) indican que el vínculo entre biodiversidad de insectos y polinización se ha evaluado mediante estudios observacionales y experimentales. Los estudios observacionales comparan los niveles de polinización de un cultivo dado entre fincas donde se esperan diferencias en la biodiversidad de insectos (p.ej. debido a la disponibilidad de hábitats circundantes y a la complejidad interna del sistema agroforestal). Para Miñarro *et al.* (2018) estos estudios representan bien las condiciones y las escalas reales en las que opera el vínculo entre biodiversidad y funcionamiento eco sistémico, pero son limitados a la hora de desglosar los efectos de las distintas facetas de la biodiversidad (abundancia total vs. riqueza de especies) sobre la polinización. En cambio, los estudios experimentales se han realizado sometiendo a una especie agrícola (o una comunidad herbácea) a distintas combinaciones manipuladas de riqueza y composición de polinizadores, lo cual permite verificar los efectos puros de la riqueza de polinizadores, pero siempre a costa de una notable simplificación, a pequeña escala, de las comunidades reales de insectos.

Por lo expuesto se debe cuantificar tanto la biodiversidad de insectos como la función de polinización. La biodiversidad expresada como abundancia agregada de todo el conjunto de polinizadores; y la diversidad funcional, que mide la diferenciación de roles y contribuciones funcionales entre especies. La diversidad funcional suele medirse como número de grupos funcionales, es decir, tipos de polinizadores que supuestamente difieren en su papel polinizador en función de rasgos morfológicos (Winfree *et al.*, 2015), rasgos del ciclo de vida (anidamiento y carácter social, Bakar *et al.*, 2019), características comportamentales (p.ej. altura y hora de vuelo, comportamiento de recolección de polen y néctar Hoehn *et al.*, 2008). La función de polinización se representa mediante la tasa de visita de los insectos a un número estandarizado de flores o la cantidad de granos de polen por estigma floral (Garibaldi *et al.*, 2016), o bien mediante medidas de éxito reproductivo como el cuajado de frutos (proporción de flores que pasan a frutos), el tamaño del fruto y el cuajado de semillas (número de semillas por fruto) como manifiesta Martins *et al.* (2015); también puede medirse como producción agrícola (cosecha por hectárea) según Garibaldi *et al.* (2016).

En un experimento sobre métodos de polinización artificial en cacao clonal CCN-51, realizado por Vera *et al.* (2016) ensayaron los tratamientos: T0= Control polinización natural, T1= Polinización manual, T2=

Presión de aire con neblinadora sobre las flores del tronco del cacao, T3= Presión de aire con neblinadora sobre el suelo, encontraron que el rendimiento (kg.ha⁻¹) fue mejor en el tratamiento T3 con 1.243,64 kg. Concluyeron que los mejores métodos para polinizar cacao clonal CCN-51 es aplicando la presión de aire al suelo y tronco. Atribuyen que el incremento de las flores fecundadas tiene mucha relación con las condiciones climáticas como la humedad, la misma que sobre un 70%, el polen es pegajoso y solo es factible con el traslado de insectos polinizadores, y al aplicar la presión de aire al tronco permite liberar e incrementar los granos de polen en la huerta, como también el incremento de los insectos polinizadores.

Salazar y Torres (2017) estudiaron la dinámica de polinizadores del cultivo de cacao en tres sistemas de producción (convencional, orgánica y tradicional) y determinaron que las especies de la familia Thysanoptera fueron los insectos que se encontraron en mayor cantidad en cada una de las tres fincas. También informan que en la finca tradicional fue donde se registró la mayor cantidad de insectos, flores y frutos, en valores considerables a comparación con las otras dos fincas (orgánica y convencional).

CONCLUSIONES

La interacción de los factores bióticos y abióticos influye, de manera positiva, sobre la fecundación de la flor del cacao. La polinización es fundamentalmente entomófila; sin embargo, otros componentes bióticos, con funciones ecos sistémicos en la conservación del hábitat de los insectos polinizadores. La temperatura y humedad contribuyen en este propósito.

La variabilidad de los materiales genéticos de cacao, cultivados en una misma unidad de producción, contribuyen a contrarrestar los efectos poco deseados de cada material relacionados a la autoincompatibilidad en la fecundación de la flor del cacao.

Los principales agentes polinizadores en el cultivo de cacao son moscas diminutas pertenecientes a la familia Ceratopogonidae.

LITERATURA CITADA

Abad, K., Cevallos, H., Montealegre, V., Romero, H., 2021. Análisis de las exportaciones del cacao ecuatoriano en grano en el periodo 2008 al 2018. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 4(1):147-155.

Abdullah, S., Mehmood, F., Malik, H., Ahmed, I., Heidari, P., Poczai, P. 2021. La familia de genes GASA en el cacao (*Theobroma cacao*, Malvaceae): Análisis de

expresión e identificación amplia del genoma. Revista de Agronomía, 11(7):14-25.

Adjaloo, M., Ghana, A., Owusu-Ansah, E., Oduro, W., Fleischer, T. 2017. Preferencia de polinizadores de cacao para diferentes sustratos de reproducción en un cacao-agroecosistema: un enfoque proxy. Revista Ghana J. Forestry, 33(1):38-47.

Akese, G., Ebenezer, O., Kyerematen, R., Acheampong, S. 2021. Diversidad de artrópodos de granjas de cacao bajo dos sistemas de gestión en las regiones oriental y central de Ghana. Revista Agroforest Syst, 95(1):791-803.

Alvarado, A., Carrera, M., Morante, J. 2018. Importancia de la mosquilla *forciponyia* ssp en la polinización y producción del cultivo de cacao: desarrollo local sostenible (En línea). Consultado 15 Jul. 2020. Formato (HTML). Disponible en <https://www.eumed.net/rev/delos/33/cultivo-cacao.html>

Antúnez, Y. 2018. Identificación, diversificación y distribución temporal de insectos asociados al cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Catacamas, Honduras (En línea). Tesis. Maestría en sanidad vegetal. Universidad Nacional Agraria. Honduras. p 45. Consultado 11 de Oct. 2021. Disponible en <https://repositorio.una.edu.ni/3744/1/tnh10a636.pdf>

Aranzazú Hernandez, F., Martínez Guerrero, N., & Rincón-Guarín, D. A. 2008. Autocompatibilidad e Intercompatibilidad sexual de materiales de cacao. Bucaramanga: Corpoica. Consultado el 20 de Oct de 2022. Disponible en https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2205/44149_563_06.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arciniegas A. 2015. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE. In. Turrialba - Costa Rica. p. 144. Consultado el 10 de Nov de 2022. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4571?show=full>.

Armijos, V; García, L; Castro, J. y Martínez, M. 2020. Insectos Polinizadores en sistemas de producción de *Theobroma cacao* L en la zona central del litoral Ecuatoriano. Ciencias Agrarias UTEQ. 13(2):23-30.

Atamia, H; Creux, N; Brown, E; Garner, A; Blackman, B, Y Harmer, S. 2016. Circadian regulation of sunflower

- heliotropism, floral orientation, and pollinator visits. *SCIENCE*, 353(6299): 587-590.
- Bakar, S., Adnan, N., Ummu, S. 2019. Temporal geospatial assessment of cocoa pollinator, *Forcipomyia* in cocoa plantation area. *Revista Serangga* 24(1):159-172.
- Bekele, F y Phillips, W. 2019. Cacao (*Theobroma cacao* L.) Breeding (En línea). Libro *Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops*. pp 409-487. Consultado 08 de Oct. 2021. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-3-030-23265-8_12
- Cajamarca, D; Paredes, M; Cabrera, C; Velazco, L. y Vaca, M. 2020. Agroquímicos: enemigos latentes para los polinizadores y la producción de alimentos primarios que agonizan. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, (65).
- Cañarte, E.; Montero, S. y Navarrete, B. 2021. Reconocimiento, importancia y cuidado de los polinizadores en los sistemas de producción del cacao (En línea). 1era. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Guía No. 177. 38 p. Consultado 10 de Oct. 2021. Disponible en <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5749>
- Carvajal, V. 2020. Importancia de las abejas como polinizadores (En línea). Consultado 25 Nov. 2021. Disponible en <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21021/1/Importancia%20de%20las%20abejas%20como%20polinizadores2a.pdf>
- Cedeño, S.; Sánchez, P.; Faubla, R.; Borrero, A.; Bermúdez, E. 2019. Floración y diversidad de insectos polinizadores en un sistema monocultivo de cacao. *Revista ESPAMCIENCIA* ISSN 1390-8103. 10(1):1-7.
- EKOS. Febrero 21 de 2022. El cacao marca récord de exportaciones por segundo año consecutivo. Anecacao, primicias. Disponible en <https://www.ekosnegocios.com/articulo/el-cacao-marca-record-de-exportaciones-por-segundo-ano-consecutivo#:~:text=En%202022%2C%20Ecuador%20prev%3%A9%20incrementar,1.000%20millones%20exportados%20en%20valor.>
- Flores, J; Saldivar, D; Rigby, K. y Murillo, Y. 2021. Inventario de mariposas diurnas en agrosistemas tropicales como bioindicadores de la calidad ambiental. *Revista Torreón Universitario*. 10(27):1-7.
- Forbes, S. y Northfield, T. 2017. El aumento del hábitat de los polinizadores mejora el cuajado del cacao y la conservación de los depredadores. *Revista Ecological Applications*, 27(3): 887–899.
- Garibaldi, L.A., Carvalheiro, L.G., Vaissière, B.E., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., & Freitas, B.M. 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science* 351(6271):388-391.
- García, T.B., Bazurto, Z.A., García, C.L., y Zambrano, G.F. 2019. Morphology, viability, and longevity of pollen of National Type and Trinitarian (CCN-51) clones of cacao (*Theobroma cacao* L.) on the coast of Ecuador. *Brazilian Journal of Botany*, 42(3), 441-448.
- García, C.L.C., Vera, P.L., Zambrano, G.F., Zamora, M.A., & Cedeño, O.J. 2020. Pollen production in *Theobroma cacao* L. genotypes national type and CCN-51 and its relationship with climatic factors on the ecuadorian coast. *Acta Agrobotanica*, 73(2), 1-9.
- González, C. 2017. Estudio comparativo de la estructura elemental de materia orgánica de suelo y mantillo cultivados de cacao en El Oro, Ecuador (En línea). *Revista Científica Agroecosistemas*. Artículo. Universidad metropolitana de Ecuador, por la conservación del desarrollo sostenible (Extraordinario). 5(1):54-60. Consultado 13 de Dic. 2021. Disponible en <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/141>
- González, A. 2018. Identificación de Insectos polinizadores del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la Finca Concepción, Municipio de Berlín, Departamento de Usulután (En línea). Tesis. Lic. Biología. Universidad de El Salvador. San Salvador. pp 36-40. Consultado 4 de Oct. 2021. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/237468277.pdf>
- Hoehn, P., Tschardtke, T., Tylianakis, J.M., Steffan-Dewenter, I. 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 275(1648):2283-2291.
- INCYTU (Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de La Unión). 2019. Abejas: insectos polinizadores. *Boletín* (31): 1-6.
- Indriati, G., Susilawati, J., Puspitasari, M. 2021. Diversidad de insectos de la plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.) bajo diferentes árboles de sombra en Pakuwon, Sukabumi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 418(1):01-08.

- Jiménez, E. y Antúnez, Y. 2016. Insectos asociados al cacao, Honduras. *Revista ciencia e interculturalidad*. 28(1):1-16.
- Koch, E., Neto, E., Marques, T., Mariano, C., Arnhold, A., Peronti, A., y Delabie, J. 2020. Preferencias de diversidad y estructura para mutualismos de hormigas hemípteros en los árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 15(1):65-81.
- Loor, R., Rivadeneira, Q., Carmelo, G., Vera, Q., Gonzalo, J. 2016. Mejoramiento y homologación de los procesos de investigación, validación y producción de servicios de cacao y café. Publicación Miscelánea no. 433 Ecuador: Estación Experimental Tropical Pichilingue, Programa Nacional Cacao y Café (En línea). Consultado 27 de Oct. 2021. Disponible en <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5093/4/iniapectpPM433.pdf>
- López, H.J.G., López, H.L.E., Avendaño, A.C.H., Aguirre, M.J.F., Espinosa, Z.S., Moreno, M.J.L., Suárez, V.G.M. 2018. Biología floral de cacao (*Theobroma cacao* L.); criollo, trinitario y forastero en México. *Agroproductividad*, 11(9): 129-136.
- Martins, K.T., Gonzalez, A., Lechowicz, M.J. 2015. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200:12-20.
- Mena, M. 2016. Flujo de polen y eficiencia reproductiva de cinco clones en etapa productiva de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo nacional y dos trinitarios en la finca experimental la represa. Tesis. Ing. Agropecuario. Universidad técnica estatal de Quevedo-EC. p 36. (En línea). Consultado 05 de Oct. 2021. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4677/1/T-UTEQ-0215.PDF>
- Mena, M., García, L. C., Cuenca, E., Pinargote, L., Villamar-Torres, R., Jazayeri, S. 2020. Flujo de polen de *Theobroma cacao* y su relación con factores climáticos en la zona central del litoral ecuatoriano. *Revista Bioagro*, 32(1):39-48
- Meléndez, V; Chablé, J. y Selém, C. 2020. Polinización y polinizadores amenazados en desaparecer. *Bioagrociencias*, 13(2): 109-119.
- Miñarro Prado, M., García García, D., y Martínez Sastre, R. 2018. Los insectos polinizadores en la agricultura: importancia y gestión de su biodiversidad. *Ecosistemas*, 27(2): 81-90.
- Montero, S., Sánchez, P., Solórzano, R., Pinargote Borrero, A., Cañarte, E. 2019. Floración y diversidad de insectos polinizadores en un sistema monocultivo de cacao. *Revista ESPAMCIENCIA* 10(1): 1-7.
- Naoki, K., Gómez, M., Schneider, M. 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.
- Pinel, A. 2021. ¿Quién ayuda a cuidar el cacao? Cultivos, insectos y murciélagos (En línea). *Revista Desde el Herbario CICY* (Centro de investigación científica de Yucatán). 13: 73–77. Consultado 09 de Sep. 2021. Disponible en https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2021/2021-04-15-Ana-Luisa-Pinel-Quien-ayuda-a-cuidar-el-cacao.pdf
- Rincón-Barón, Edgar-Javier, Zarate, Diego-A., Agudelo-Castañeda, Genaro-Andrés, Cuarán, Viviana-Lucía, y Passarelli, Lilian-M. 2021. Micromorfología y ultraestructura de las anteras y los granos de polen en diez genotipos élite de *Theobroma cacao* (Malvaceae). *Revista de Biología Tropical*, 69 (2): 403-421. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i2.44711>
- Ríos, D. 2015. Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de *Theobroma cacao* (En línea). Tesis. Lic. Ciencias biológicas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Consultado 25 de Oct. 2021. Disponible en [Quito. https://n9.cl/e50kx](https://n9.cl/e50kx)
- Salazar, R. y Torres, V. 2017. Estudio de la dinámica de polinizadores del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en tres sistemas de producción. *Revista Tecnología en Marcha*. Costa Rica, TEC. 30(1):90-100.
- Santos de Oliveira, J.M., Martins, M.S., Dorneles, M.P., & Carvalho de Freitas, C. 2015. Starch distribution in anthers, microspores and pollen grains in *Aechmea recurvata* (Klotzsch.) LB Sm., *Dyckia racinae* LB Sm. and *Tillandsia aeranthos* (Loisel.) LB Sm. (Bromeliaceae). *Acta Botanica Brasilica*, 29(1): 103-112.
- Saripah, B., Aizam, A., Ummu, R. 2017. Evaluación geospacial temporal del polinizador del cacao, *Forcipomyia* en zona de plantación de cacao. *Revista Serangga*, 24(1):159-172. Consultado 24 de Ago. 2021.
- Suárez-Capello, C., Moreira-Duque, M., Vera B., J., y Vera, J. 1994. Manual del cultivo de cacao. Quevedo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Tropical Pichilingue. (Manual no. 25). p 135. Consultado el 22

- de Oct. Disponible en <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1621>
- Suganthi, M. 2019. Relevamiento y seguimiento de insectos polinizadores del cacao. *Revista internacional de las Ciencias Agrarias*. 9(3):2-7
- Supriyadi, S., Dzirkillah, F., Arniputri, R., Wijayanti, R. 2020. The Effect of Shade Trees in the Coffee Ecosystem to the Population and Diurnal Activity of Insect Pollinators. *Revista internacional on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 10(4):1743-1749.
- Syafruddin, W., Paweroi, R., Köppen, M. 2021. Algoritmo de búsqueda metaheurística de selección de comportamiento para la polinización Optimización: un caso de simulación de flores de cacao. *Revista Algoritmos*, 14(230):2-7.
- Tarmadja, S. 2015. Visitantes florares de cacao, diversidad de insectos y sus potencialidades como polinizadores. *Revista KnE Life Sciences*, 2(1):540-543.
- Toledo, M., Wanger, T., Tschardtke, T. 2017. Una revisión: Polinizadores desatendidos: ¿Pueden los servicios mejorados de polinización mejorar los rendimientos del cacao?. *Revista Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247(1):137-148.
- Toledo, M., Tschardtke, T., Tjoa, A., Anshary, A., Cyio, B., Wanger, T. 2020. La polinización manual, no pesticidas ni fertilizantes, aumenta el rendimiento del cacao y los ingresos de los agricultores. *Revista Agriculture Ecosystems & Environment*. 250(1):107160.
- Toledo, M., Tschardtke, T., Tjoa, A., Anshary, A., Cyio, B., Wanger, T. 2021. Manejo del paisaje y a nivel de finca para la conservación de polinizadores potenciales en los bosques agroforestales de cacao de Indonesia. *Revista Biological Conservation*. 257(1):109106.
- Valarezo, O., Cañarte, E., Navarrete, B. 2015. Artrópodos relacionados con el cultivo de cacao en Manabí (En línea). Consultado 28 de Ago. 2021. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6087699>
- Vanegas, O. 2021. Incompatibilidad sexual en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) y su incidencia en la producción (Examen complejo) (En línea). UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador. Consultado 19 May. 2021. Formato (PDF). Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16585>
- Vera, J, Cabrera, R, Morán, J, Neira, K, Haz, R, Vera, J, Molina, H, Moncayo, O, Díaz, E, & Cabrera, C. 2016. Evaluación de tres métodos de polinización artificial en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51. *Revista Idesia (Arica)*. 34(6):35-40.
- Winfrey, R., Fox, J.W., Williams, N.M., Reilly, J.R., Cariveau, D.P. 2015. Abundance of common species, not species richness, drives delivery of a real world ecosystem service. *Ecology Letters* 18(7):626-635.
- Zegada, L., Lafuente, I., Naoki, K., Armengot, L. 2020. Variación en la composición de visitantes florales de cacao (*Theobroma cacao*) entre cinco sistemas de producción en Sara Ana, Alto Beni, Bolivia. *Revista Ecología en Bolivia*, 55(3):145-159.