



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Carrera de Biología

**COMPARACIÓN DE MÉTODOS NO INVASIVOS  
DE COLECTA DE POLEN EN COLIBRÍES  
(TROCHILIDAE) EN UN ÁREA URBANA,  
CUENCA, ECUADOR**

Autores:

**Francisco Idrovo Quezada; Jorge Daza Coronel;**

Director:

**Boris Tinoco Molina**

Codirector:

**William Arteaga**

**Cuenca – Ecuador**

**Año 2025**

## **DEDICATORIA**

### **Jorge Gabriel Daza Coronel:**

Dedico este trabajo principalmente a mi padre Johnny Daza y a mi madre Lorena Coronel, por ser mi pilar incondicional, por brindarme su apoyo, su cariño y la motivación para seguir y cumplir mis sueños. A mi hermana, Carolina Daza por su cariño y comprensión. A toda mi familia quienes han estado presentes en este proceso, por sus palabras de aliento y siempre estar para brindarme su ayuda en todo momento. A mis amigos dentro y fuera de la universidad y compañeros de clase que compartieron conmigo momentos de alegría, crecimiento y aprendizaje.

Gracias a todos por ser parte esencial de este logro, el cual no habría sido posible sin su presencia, apoyo y confianza en mí.

### **Francisco José Idrovo Quezada:**

Dedico este trabajo a mis padres, Franklin Idrovo y Silvia Quezada, quienes siempre creyeron en mí y me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de todo este proceso. A mi hermano, Joaquín Idrovo, a mi abuelita Lola y a mi tía Anita, quienes son pilares fundamentales en mi vida y me han motivado constantemente a seguir adelante. A mis amigos, los Pillos, por proporcionarme momentos de felicidad que me ayudaron a superar los retos de este camino. A mis compañeros Jorge, Gabi, Ever y Daniel, por ser la mejor compañía que pude haber tenido en la universidad.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. No hubiera logrado esto sin su apoyo y cariño.

## **AGRADECIMIENTO**

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestro director de tesis, Boris Tinoco, por compartir generosamente su conocimiento, por su orientación constante y por su disposición incondicional durante todo el desarrollo de este trabajo. Asimismo, agradecemos profundamente a nuestro codirector, William Arteaga, por su acompañamiento cercano, su compromiso con nuestro progreso y por ser una guía a lo largo de este proceso académico. Y finalmente a David Siddons por brindarnos su ayuda, si en esta no hubiera sido posible este trabajo.

## **RESUMEN:**

La biodiversidad cumple un papel fundamental en el desarrollo y mantenimiento de la vida gracias a los servicios ecosistémicos que brindan. En donde la polinización es uno de los más importantes puesto que permite la reproducción y fecundación de plantas con flores. La urbanización y la introducción de especies vegetales exóticas pueden alterar las funciones de polinización, especialmente aquellas que involucran a colibríes, los cuales suelen ser polinizadores especializados. Este estudio evalúa la eficacia de métodos no invasivos para la colecta de polen transportado por colibríes, utilizando prototipos en bebederos artificiales en la ciudad de Cuenca, Ecuador. Se probaron cuatro diseños de prototipos con el objetivo de identificar cuál de ellos es más eficiente en términos de abundancia y riqueza de polen, combinados con dos concentraciones de solución azucarada (10% y 30%). Se realizaron muestreos en dos ocasiones por bebedero, recolectando y analizando las muestras de polen para identificar su abundancia y diversidad taxonómica, con ayuda de una guía de polen diseñada. Los resultados evidenciaron que todos los prototipos fueron capaces de recolectar polen de forma efectiva, validando su utilidad como herramienta de muestreo no invasiva. Por otro lado, el prototipo con fucsina destaca significativamente en cuanto a eficiencia, tanto en la cantidad como en la riqueza de polen colectado. Estos hallazgos proporcionan evidencia empírica valiosa para la implementación de métodos alternativos en el estudio de la polinización en ambientes urbanos, y resaltan el potencial de los bebederos artificiales como instrumentos alternativos para estudios ecológicos.

### **Palabras clave:**

polinización, colibríes, métodos inofensivos, bebederos artificiales, diversidad de polen, urbanización.

## **ABSTRACT:**

Biodiversity plays a fundamental role in the development and maintenance of life through the ecosystem services it provides. Among these, pollination is one of the most important, as it enables the reproduction and fertilization of flowering plants. Urbanization and the introduction of exotic plant species can disrupt pollination dynamics, particularly those involving hummingbirds, which are often specialized pollinators. This study evaluates the effectiveness of non-invasive methods for collecting pollen transported by hummingbirds, using prototype devices installed on artificial feeders in the city of Cuenca, Ecuador. Four prototype designs were tested to determine which was most efficient in terms of pollen abundance and richness, combined with two concentrations of sugar solution (10% and 30%). Sampling was carried out twice per feeder, and the collected pollen samples were analyzed to assess both abundance and taxonomic diversity, using a custom-designed pollen guide. The results showed that all prototypes were capable of effectively collecting pollen, validating their usefulness as non-invasive sampling tools. Notably, the fuchsin-stained prototype demonstrated significantly higher efficiency in terms of both the quantity and richness of pollen collected. These findings provide valuable empirical evidence for the implementation of alternative methods in pollination studies within urban environments, and highlight the potential of artificial feeders as effective tools for ecological research.

### **Keywords:**

pollination, hummingbirds, non-invasive methods, artificial feeders, pollen diversity, urbanization

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
RESUMEN: .....	III
ABSTRACT:.....	IV
ÍNDICE .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
INTRODUCCIÓN .....	1
METODOLOGÍA .....	3
2.1 Área de estudio.....	3
2.2 Etapa de campo .....	4
2.3 Etapa laboratorio .....	7
2.4 Análisis estadístico .....	8
RESULTADOS.....	8
3.1 Frecuencia de polen por prototipo.....	9
3.2 Riqueza por prototipo.....	10
3.3 Abundancia de polen por prototipo .....	11
DISCUSIÓN .....	12
BIBLIOGRAFÍA .....	14

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Puntos de muestreo en donde se colocaron los bebederos.....	4
<b>Figura 2.</b> Se muestran los prototipos utilizados: A. Sin prolongación utilizando una base en donde se coloca gel de fucsina. B. Sin prolongación utilizando cinta doble faz. C. Con prolongación utilizando gel de fucsina. D. Con prolongación utilizando cinta.....	6
<b>Figura 3.</b> Placa de acetato con los transectos sobre el cubreobjetos para contabilizar los granos de polen.....	7
<b>Figura 4.</b> Abundancia de granos de polen de las especies de plantas a la que pertenecen los granos de polen colectados, el eje y representa a las especies identificadas y las no identificadas como morfotipos (Sp), mientras que el eje x nos muestra la abundancia en las muestras obtenidas.....	9
<b>Figura 5.</b> Se visualiza la probabilidad estimada de presencia de polen para cada prototipo, con su respectivo intervalo de confianza.....	10
<b>Figura 6.</b> La riqueza de especies registradas en los distintos prototipos. El eje Y indica la riqueza de especies registradas por muestra. Las cajas muestran la mediana y los puntos muestran cómo están dispersos los datos de cada variable.....	11
<b>Figura 7.</b> Abundancia de granos de polen ( $\log_{10} + 1$ ) en los distintos prototipos. Las letras sobre las cajas indican agrupaciones que se basan en una prueba post-hoc; letras compartidas entre prototipo no presentan diferencias estadísticas.....	12

## INTRODUCCIÓN

La biodiversidad de especies presentes alrededor del mundo, presentan múltiples roles ecológicos en los ecosistemas, permitiendo así el mantenimiento y desarrollo de la vida (Harper & Hawksworth, 1994). Por ejemplo, la dispersión de semillas por ciertas aves, mamíferos y otros animales, permite la propagación de un gran número de especies de plantas (Amico & Aizen, 2005). Otra de las funciones más importantes para el mantenimiento de la biodiversidad es la polinización, en donde ciertos insectos, mamíferos y aves promueven el flujo de polen entre flores (Durand, 2018). Esto permite la reproducción y fecundación de plantas generando poblaciones florísticas (Perez Toffoletti, 2018). El servicio de polinización es sumamente importante puesto que permite la diversificación vegetal y faunística aunque de una manera indirecta (Sáez et al., 2014). La existencia de hábitats diversos que presentan una amplia variedad de especies adaptadas a cada tipo hábitat, permite la sostenibilidad de los distintos ecosistemas presentes en el planeta (Sosenski & Domínguez, 2018). A partir de varios estudios e investigaciones se ha logrado calcular que alrededor del 80% de las plantas silvestres y cerca del 75% de los principales cultivos de consumo humano dependen de la polinización biótica (Sosenski & Domínguez, 2018). Las angiospermas o plantas con flores son las que se caracterizan por este proceso en donde el polen es conducido o transportado de la zona masculina de la flor conocida como “antera” a la parte femenina de otra flor conocida como “estigma”. Este proceso es importante en los ecosistemas puesto que a partir de este se puede producir la formación de frutos y semillas los cuales dan lugar a la descendencia de plantas y sirven como alimento para la mayoría de seres vivos (Serrano Serrano et al., 2017).

La urbanización es una de las principales amenazas para la biodiversidad a escala global (Baños, 2009). Esta resulta en el reemplazo de la cobertura vegetal, fragmentación y degradación de hábitats. Afecta a la biodiversidad y sus funciones como el proceso de polinización, reduciendo las poblaciones tanto de plantas como de animales (Torres-Vanegas et al., 2021). La urbanización conlleva a la introducción de especies exóticas que pueden actuar como invasoras, debido a que tienen una capacidad de expansión mayor que la de las especies nativas y pueden causar daños económicos o ambientales (Fernández-Palacios et al., 2004). Por esta razón, las plantas nativas se ven afectadas por la introducción de plantas exóticas puesto que estas son más abundantes y diversas (Carvallo, 2009). Además, las plantas introducidas son mejores competidoras que las nativas ya que producen más néctar que las nativas, son más vistosas y tienen una alta tasa de crecimiento y por lo tanto atrae a más

polinizadores (Osorno Acosta, 2014). Esto provoca una disminución en la diversidad y abundancia de polinizadores especializados, perdiendo las interacciones naturales, la reproducción y sobrevivencia de las especies nativas (Osorno Acosta, 2014). Esto afecta al transporte de polen por los polinizadores debido a que reciben polen heteroespecífico mayormente de plantas exóticas generando graves consecuencias a las plantas nativas (Razanajatovo et al., 2024). Teniendo en cuenta la gran influencia en la calidad de polen transportado y en el apareamiento de las plantas puesto que reciben una mezcla de polen propio, incompatible o de individuos estrechamente relacionados (Vargas-Valverde et al., 2022). La buena calidad del polen, refiriéndonos a polen conespecífico es un parámetro fundamental en estudios ecológicos y biológicos relacionados con la polinización y la reproducción de plantas. Este concepto toma en cuenta la viabilidad y la germinabilidad de los distintos granos de polen (Rejón et al., 2010). La importancia de este parámetro radica en su influencia sobre el éxito de la polinización y en la reproducción de las plantas, determinando la compatibilidad y la viabilidad de los granos de polen. Estudios realizados revelaron que las especies endémicas jóvenes y viejas contribuyeron de manera polen transportados por los distintos polinizadores, lo que facilita la formación de semillas y frutos viables (Rejón et al., 2010). Esto impacta directamente en la diversidad de fenotipos y genotipos de la descendencia, afectando a las poblaciones de las especies de plantas. Además, con un fallo en el éxito reproductivo las plantas van perdiendo sus funciones en el ecosistema (Pérez de Paz et al., 2017).

Los colibríes son importantes polinizadores puesto que participan en el mantenimiento y diversificación vegetal o de plantas (Lasprilla & Sazima, 2004). Estas aves son más efectivas a la hora de polinizar en comparación con otros polinizadores gracias a su morfología, permitiendo que los granos de polen se adhieren en diferentes partes de su cuerpo para posteriormente ser transportados al estigma de otra planta de la misma especie (Abrahamczyk et al., 2022). Estas pequeñas aves son nativas del continente americano, se encuentran desde el nivel del mar hasta los altos Andes, teniendo esta última mayor diversidad de este grupo de aves (Carvajal & Montalvo, 2021). Los colibríes se alimentan principalmente del néctar de las flores (Carvajal & Montalvo, 2021). En los Andes la riqueza de especies de colibríes es alta comparado con las regiones amazónicas con una alta tasa de especiación (Sonne et al., 2022). Lo que les convierte en una de las aves más importantes en los procesos de polinización en el continente, permitiendo la reproducción de distintas especies de plantas (Álava Loor & Asanza Cedeño, 2019). Además, se ha demostrado que los colibríes son importantes para mantener las redes mutualistas con las plantas, conectando las poblaciones vegetales gracias a su capacidad

para recorrer grandes distancias (Martínez-García & Ortiz-Pulido, 2014). Por esta razón un aspecto esencial para el estudio de su rol ecológico y la efectividad en la polinización es mediante la recolección de polen. Para conseguirlo se utilizan diferentes métodos y diferentes herramientas como es el uso de bebederos artificiales, ya que los colibríes tienden llegar alimentarse del néctar artificial (agua azucarada), permitiendo el estudio de este grupo de aves (Lawrence & Hazlehurst, 2023).

Los bebederos se han utilizado ampliamente como herramientas de investigación en varias disciplinas del comportamiento y la ecología (Echeverry-Galvis et al., 2024). Los bebederos artificiales pueden tener impactos positivos como negativos en relación planta-polinizador (Echeverry-Galvis et al., 2024). Uno de estos impactos es el aumento de polinizadores cerca de los bebederos, lo cual mejora la polinización en la zona. Aunque también disminuye la producción de semillas cerca de zonas donde se encuentran los bebederos (Echeverry-Galvis et al., 2024). Esta herramienta no solo permite atraer y observar a estos organismos, sino también puede ser utilizada para la recolección de polen adherido al pico y a las plumas para un análisis de la deposición del polen (Lawrence & Hazlehurst, 2023). Existe el pensamiento erróneo de que las altas concentraciones de azúcar causan diabetes en los colibríes lo cual les produce problemas en su salud, se ha demostrado a través de diferentes estudios que este efecto en la salud de estos individuos es completamente falso (Echeverry-Galvis et al., 2024). Hasta la actualidad, no se han realizado investigaciones donde se utilizan bebederos como instrumento para la recolección de polen. Esto puede dar una idea sobre los roles ecológicos como la polinización.

En este estudio evaluamos la efectividad de métodos no invasivos para la recolección de polen en colibríes en entornos urbanos, utilizando bebederos artificiales como herramienta de muestreo. Evaluamos específicamente la cantidad de polen recolectado entre los distintos prototipos, además de la riqueza que tenía cada uno de estos. Este trabajo permitirá entender mejor el papel de estas aves en la polinización urbana y ofrecer alternativas metodológicas eficientes para futuras investigaciones.

## **METODOLOGÍA**

### **2.1 Área de estudio**

Este estudio se realizó en tres sitios de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Andes del sur del Ecuador. 1) Campus Universidad del Azuay X  $-79.000802^{\circ}$  Y  $-2.919021^{\circ}$  y una altitud

2520 msnm, 2) Campus central Universidad de Cuenca X  $-79.009692^{\circ}$  Y  $-2.900460^{\circ}$ , con una altitud de 2575 msnm, 3) Campus Balzay Universidad de Cuenca X  $-79.036608^{\circ}$  Y  $-2.891103^{\circ}$  y una altitud 2607 msnm. Se seleccionó estos sitios considerando una extensión entre 8 a 12 ha, además se caracterizan por contar con jardines cultivados y mantenidos de forma regular, con escasa presencia y baja diversidad de plantas nativas. La selección de estos espacios respondió a que presentan una cantidad moderada de plantas polinizadas por colibríes, lo cual los convierte en lugares adecuados para observar interacciones planta-polinizador bajo condiciones urbanas y semi controladas.



*Figura 1. Puntos de muestreo en donde se colocaron los bebederos.*

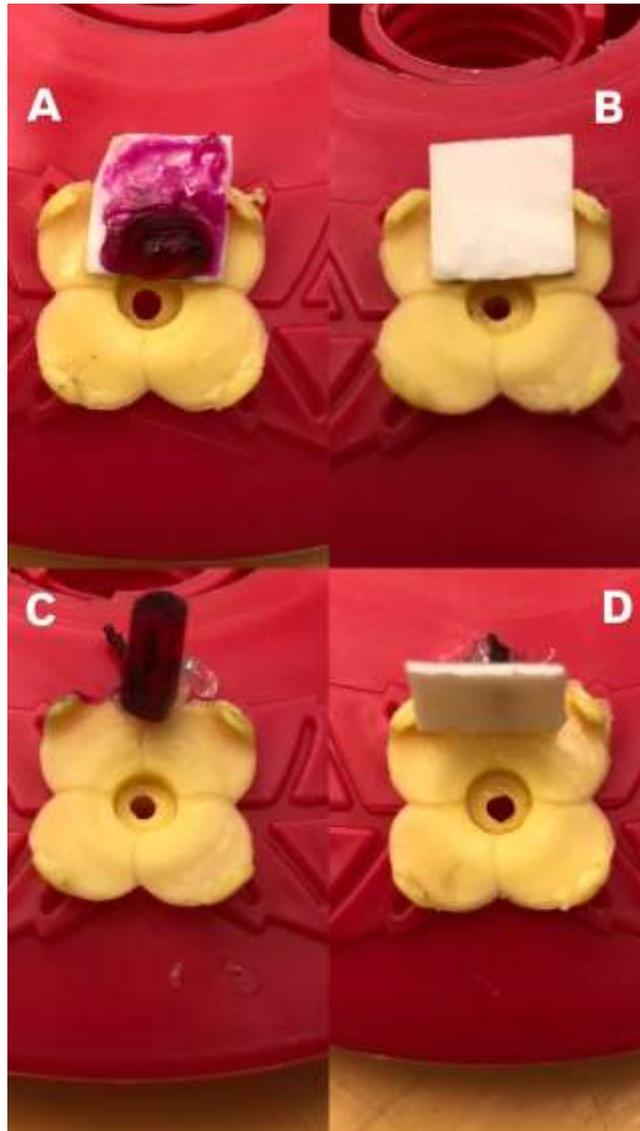
## **2.2 Etapa de campo**

En cada sitio se ubicaron dos bebederos con distinta concentración de azúcar uno con el 30% y otro con el 10%. Seleccionamos estas concentraciones de sacarosa debido a que el néctar de flores que visitan los colibríes suele tener un contenido de azúcar de alrededor del 25% (Peña & Peña, 2020). Los bebederos fueron ubicados a una altura de 1.5 metros sobre el suelo y a 10 metros entre ellos. Esta distancia entre los bebederos permite que un colibrí pueda detectarlos, pero evita un comportamiento territorial por parte del mismo colibrí en la protección de ambos bebederos y no deje que otro llegue a alimentarse (Lawrence & Hazlehurst, 2023). Además, los bebederos estarán en lugares con una composición vegetal parecida entre los sitios de muestreo y estarán ubicados en zonas que tengan sombra gran parte del día.

Los bebederos utilizados son de color rojo en su mayoría con cuatro flores artificiales de color amarillo. Estos tenían perchas puesto que los colibríes que se encuentran en los Andes tienden a perchar para alimentarse. Esto representa una ventaja, ya que a mayores elevaciones los

costos de mantenerse en vuelo aumentan por una menor densidad del aire, una menor presión parcial de oxígeno y temperaturas más bajas (Colwell et al., 2023).

Para la colecta de polen de los colibríes que visitan los bebederos, se implementaron cuatro prototipos de estigma artificial, empleando dos tipos materiales (fucsina y cinta de doble faz) y dos tipos de estructuras (base y prolongación), ubicados en cada acceso del bebedero. Seleccionamos la fucsina porque permite la adherencia de los granos en la misma y los tiñe para su posterior visualización y la cinta adhesiva permite la adherencia del polen (Vargas Valverde et al., 2022). A partir de los materiales y estructuras, construimos cuatro prototipos de estigmas artificiales: 1) Fucsina base, consistió en un cubo de gel de fucsina ubicado sobre una cinta doble faz ubicada directamente en la parte superior de la flor del bebedero. 2) Cinta base, consistió en la aplicación directa de la cinta doble faz en la parte superior de la flor artificial del prototipo. 3) Fucsina elongación, construida con alambre de limpia pipas para simular un estigma prolongado, extendido desde la parte superior de la flor artificial del bebedero, en la punta del alambre, se coloca una porción de fucsina para recolectar el polen. 4) Cinta elongación, es similar al prototipo 3, utilizando cinta de doble faz en la punta del alambre en lugar de fucsina (Figura 2).



**Figura 2.** Se muestran los prototipos utilizados: A. Sin prolongación utilizando una base en donde se coloca gel de fucsina. B. Sin prolongación utilizando cinta doble faz. C. Con prolongación utilizando gel de fucsina. D. Con prolongación utilizando cinta.

En cada sitio se dejaron los bebederos durante 12 días consecutivos en total. Los primeros 6 días corresponden a la etapa de “reconocimiento” para que los colibríes puedan aclimatarse a este nuevo recurso. Desde el sexto día se toma en cuenta para las colectas de polen de cada prototipo en cada bebedero. Se realizaron dos colectas por prototipo una al noveno día y otra al duodécimo día. Las muestras fueron procesadas en campo, donde se las calentó con un mechero hasta que se derritan. Se las colocó en portaobjetos y luego se las cubrió con el cubreobjeto para su posterior almacenamiento en cajas de almacenaje de portaobjetos.

Por otro lado, en cada bebedero se colocó una cámara plotwatcher para documentar la interacción que tuvo el colibrí con el mismo y posteriormente poder identificarlos. La cámara contó con una memoria que será cambiada cada tres días al igual que el néctar durante el tiempo

en que el bebedero esté activo. Cada cámara se configuró para que tome una fotografía en intervalos de un segundo, entre las 6 am hasta las 6 pm.

### 2.3 Etapa laboratorio

Las muestras de polen tomadas de los prototipos, se las llevó al laboratorio de la Universidad del Azuay para ser observadas con el microscopio NIKON 40x. Para el conteo de los granos de polen, se trazó un cuadrado con cinco transectos verticales y cinco transectos horizontales en una placa de acetato. Esta se colocó sobre el cubreobjetos puesto que tenía las mismas dimensiones. Contamos e identificamos todos los granos de polen que se encontraban dentro de cada transecto (Figura 3). Si un grano de polen se encontró en la intersección de dos transectos se contabilizó solamente para uno. Se contabilizaron cuantas muestras tienen polen, a que especies pertenecen y la abundancia.



*Figura 3. Placa de acetato con los transectos sobre el cubreobjetos para contabilizar los granos de polen.*

Para la identificación se utilizó una palinoteca de referencia de plantas urbanas. La palinoteca fue construida recolectando muestras de polen directamente de los estigmas de las flores visitadas por colibríes. El polen de los estigmas fue colectado usando pequeños pedazos de gel de fucsina para que se adhieran y posteriormente se colocaron esas muestras en portaobjetos para visualizar en el microscopio. Los granos de polen fueron fotografiados por medio de MShot Image Analysis System, que también permitió hacer las medidas de los granos, que se caracteriza por ser un software que permite tomar fotografías en tiempo real que contiene herramientas para medición (Micro-shot Technology Co., 2019). Esta referencia de polen es esencial para determinar su taxonomía y facilitar el conteo.

## 2.4 Análisis estadístico

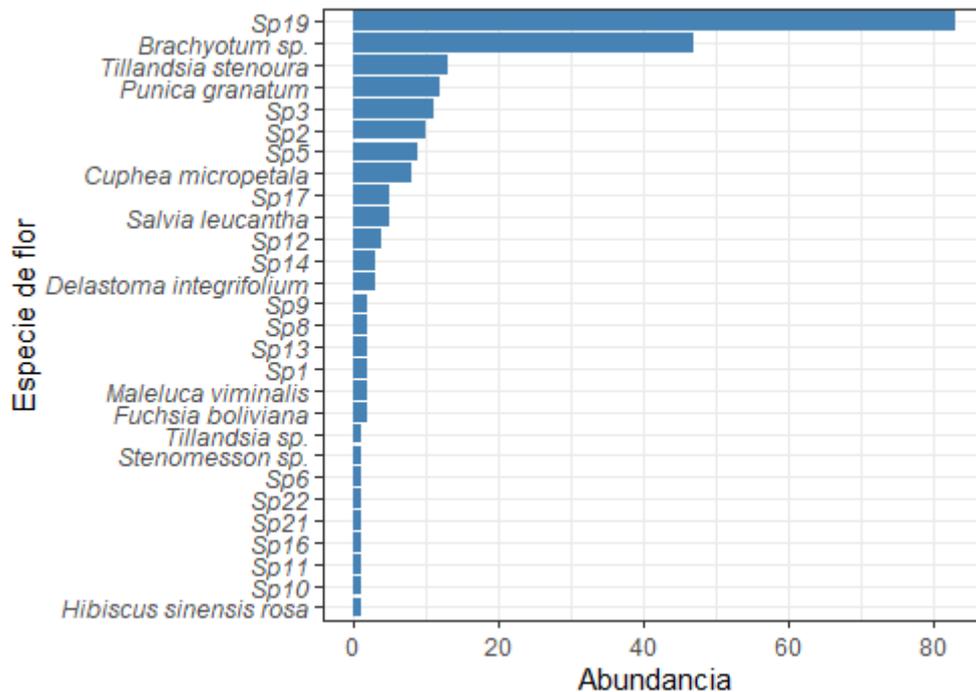
Todos nuestros análisis fueron realizados en R (*Rstudio*, 2025). Para evaluar la efectividad de los prototipos artificiales en la colecta de polen transportado por los colibríes que visitan los bebederos se compararon tres variables: la frecuencia de encontrar polen, riqueza de especies y abundancia de polen recolectado por prototipo. La frecuencia calculamos obteniendo la presencia o ausencia de muestras polen ubicando 1 en las muestras que tenían polen y 0 en las que no había polen. Estos datos eran binomiales presencia (1) o ausencia (0) de polen. Luego calculamos la riqueza de polen colectado sumando todas las especies encontradas por cada prototipo. De la misma manera se realizó el cálculo para la abundancia de polen encontrado, en este caso se sumaron los granos de polen colectado por prototipo.

Posteriormente, se consideró la distribución de los datos usando histogramas de frecuencia y se eligió el modelo lineal generalizado de efectos mixtos para analizar la influencia del prototipo (Bandera-Fernández & Pérez-Pelea, 2018). Para elaborar los modelos se usó el paquete estadístico Lme4 (Bates et al., 2015). Se consideró al prototipo como variable predictora, mientras que al bebedero y la localidad se incluyeron como efectos aleatorios para controlar la no independencia de las observaciones. Por lo tanto, se usó familia = binomial para elaborar el modelo. Ajustamos los modelos de riqueza y abundancia mediante la regresión de Poisson para el análisis de datos de conteo que nos permite ver el número de especies y el número de muestras con polen puesto que estos son valores enteros no negativos (Figuroa, 2005)

Finalmente, se aplicó una prueba post-hoc con el propósito de analizar los datos tras el análisis obtenido por glmer. Se usó la función emmeans que compara en pares, con un ajuste de comparación múltiple (Tukey) (Lenth, 2017). Esto sirvió para conocer qué tan diferente son los prototipos entre sí.

## RESULTADOS

En total se obtuvieron 48 muestras, de las cuales 36 tuvieron polen. Por otro lado, se encontró una abundancia total de 234 granos de polen, se encontraron 29 morfotipos de los cuales se identificaron 11 especies de plantas pertenecientes a 9 diferentes familias. Las más comunes fueron *Sp 19*, *Brachyotum sp*, *Tillandsia stenoura* y *Punica granatum* vease en la figura 4.

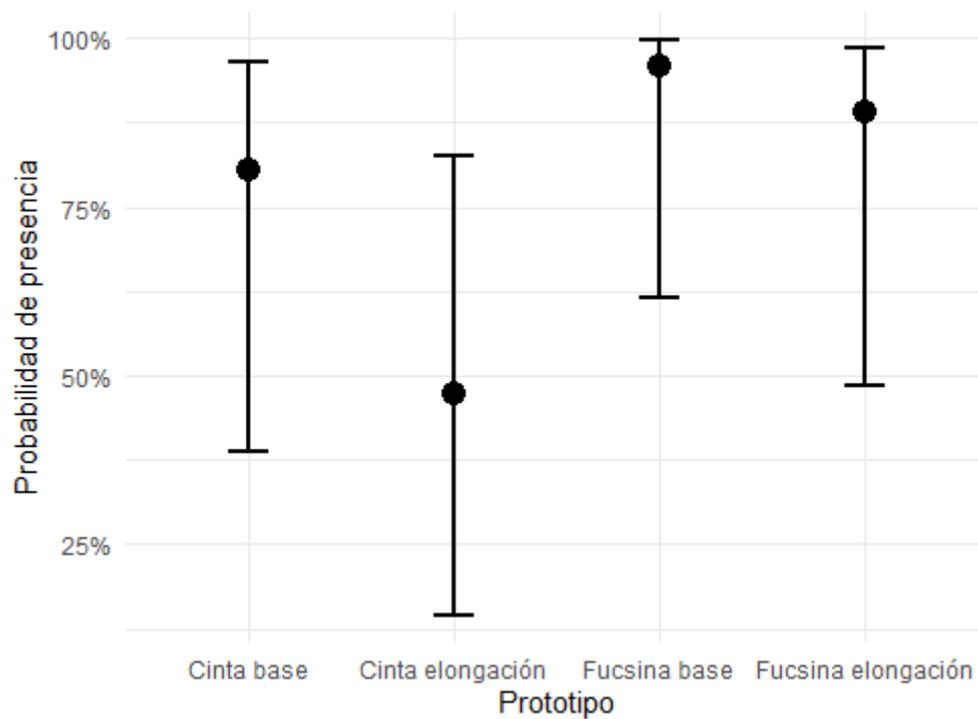


**Figura 4.** Abundancia de granos de polen de las especies de plantas a la que pertenecen los granos de polen colectados, el eje y representa a las especies identificadas y las no identificadas como morfotipos (Sp), mientras que el eje x nos muestra la abundancia en las muestras obtenidas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las variables; la frecuencia de encontrar polen, riqueza de especies y abundancia de polen recolectado por prototipo.

### 3.1 Frecuencia de polen por prototipo

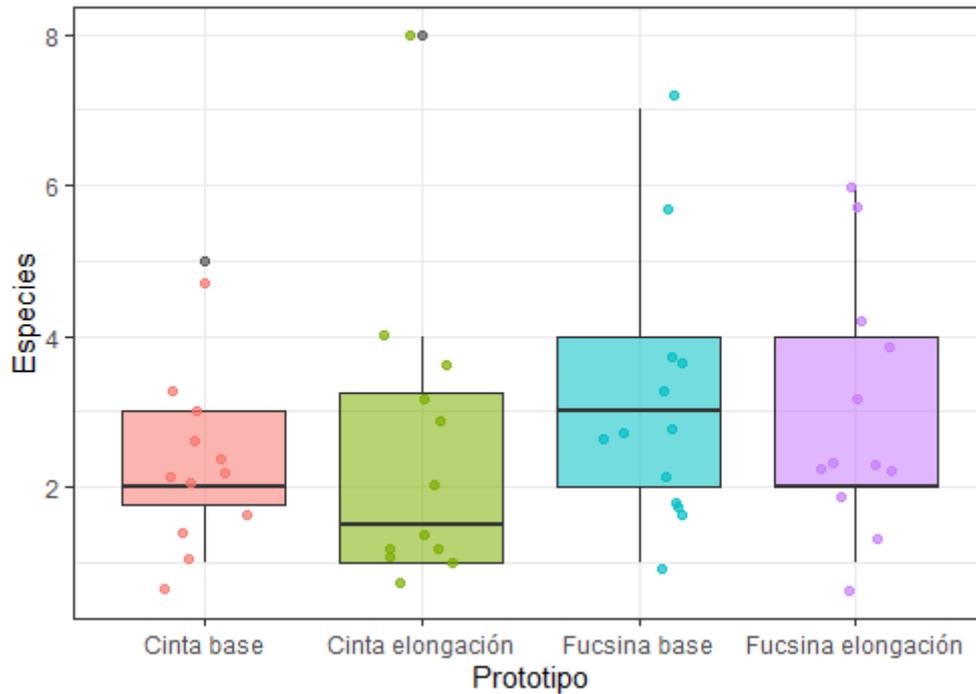
En los análisis estadísticos realizados para evaluar el efecto del tipo de prototipo sobre la frecuencia de polen, se observó que, el modelo completo que incluye el efecto del prototipo mostró un mejor ajuste en comparación con el modelo nulo ( $\text{Chisq} = 8.04$ ,  $\text{Df} = 3$ ,  $p = 0.0452$ ). Sin embargo, individualmente ninguno de los prototipos presentó diferencias estadísticamente significativas. Esto sugiere que, en conjunto, el tipo de prototipo influye en la frecuencia de polen registrada (Figura 4). No obstante, las comparaciones entre parejas de prototipos no mostraron diferencias significativas entre prototipos.



**Figura 5.** Se visualiza la probabilidad estimada de presencia de polen para cada prototipo, con su respectivo intervalo de confianza.

### 3.2 Riqueza por prototipo

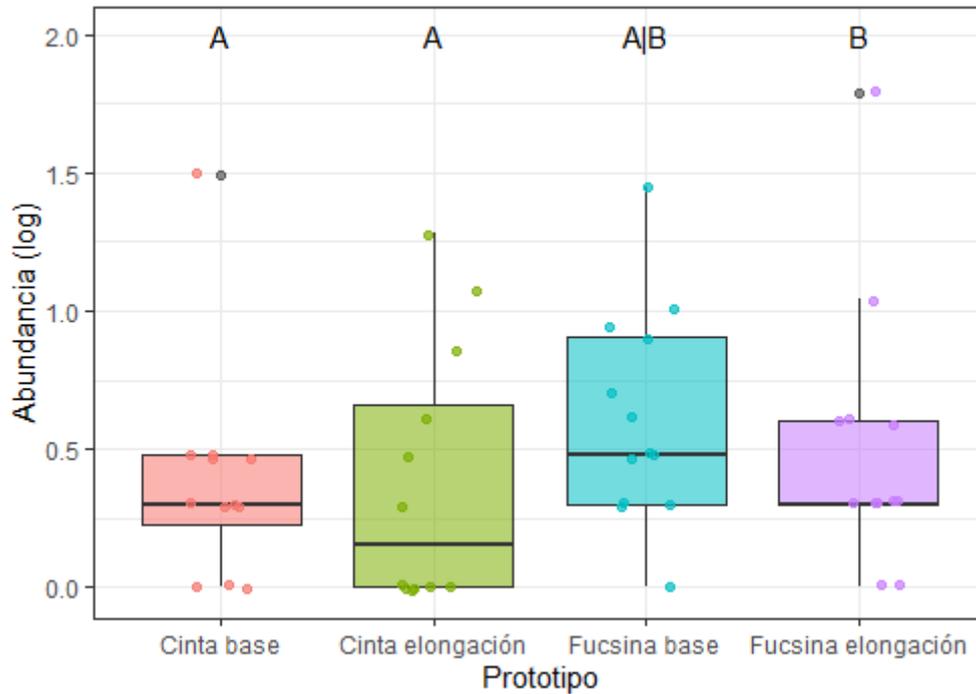
Los resultados estadísticos en la riqueza de especies tomando en cuenta el prototipo (Figura 6), se pudo observar que el tratamiento con fucsina en general tiene una mayor cantidad de morfotipos de polen. El modelo con el factor prototipo presentó un ajuste considerablemente mejor ( $\text{Chisq} = 181.07$ ,  $\text{Df} = 4$ ,  $p < 0.001$ ), lo que indica que el tipo de prototipo tiene gran diferencia e influencia en la riqueza de especies registrada.



**Figura 6.** La riqueza de especies registradas en los distintos prototipos. El eje Y indica la riqueza de especies registradas por muestra. Las cajas muestran la mediana y los puntos muestran cómo están dispersos los datos de cada variable.

### 3.3 Abundancia de polen por prototipo

En la abundancia por prototipo, el modelo con los prototipos se ajustó mejor a los datos cuando se comparó con un modelo nulo y nos dio de resultado que  $\text{Chisq} = 21.39$ ,  $\text{Df} = 3$ ,  $p < 0.001$ , lo que nos dice que si hay un efecto significativo de los prototipos en la abundancia de polen obtenido. El prototipo con mayor abundancia de polen fue fucsina elongación seguido por fucsina base. Cuando se realizó test post-hoc se puede observar que fucsina elongación (B) es diferente a cinta base (A) y cinta elongación (A), mientras que fucsina base (AB) se encuentra en una posición intermedia (Figura 7).



**Figura 7.** Abundancia de granos de polen ( $\log_{10} + 1$ ) en los distintos prototipos. Las letras sobre las cajas indican agrupaciones que se basan en una prueba post-hoc; letras compartidas entre prototipo no presentan diferencias estadísticas.

## DISCUSIÓN

Este estudio comparó la eficiencia de métodos no invasivos de recolección de polen transportado por colibríes en la zona urbana de la ciudad de Cuenca. Los resultados muestran que la frecuencia de encontrar polen en los prototipos presenta diferencias significativas cuando se compara en grupo y no individualmente. Por otro lado, no se vieron diferencias significativas para la riqueza de especies. Esto se debe a que la mayoría de polen colectado pertenece a plantas exóticas o cultivadas, las cuales son más vistosas para los polinizadores y afecta la interacción planta y polinizador nativo (Gil González, 2023). En cuanto a la abundancia, prototipos con fucsina fueron los que mayor cantidad de polen capturó, siendo fucsina base la mejor para esto.

Se demostró que los prototipos tienen un efecto general sobre la frecuencia de encontrar polen. Así mismo, al analizar la comparación de la prueba post-hoc entre los distintos prototipos, no se encontraron diferencias significativas. Esto puede deberse a un tamaño de muestra limitado, lo cual no permite que se vean las diferencias puntuales.

Los resultados obtenidos se dieron puesto que los prototipos de fucsina tienen una alta capacidad de retener los granos de polen gracias a su composición química. Sin embargo,

existió una baja diversidad de polen en las distintas zonas de estudio con respecto a la palinoteca que se elaboró. Como se demostró en Costa Rica con *D. purpurea* planta ornamental que modificó su estructura foliar para ser polinizada por colibríes (Vargas Valverde et al., 2022). Especies exóticas proveen de alimento constante a colibríes por lo cual limita su interacción con las plantas nativas dentro o cercanas a las zonas de estudio.

La forma de los estigmas artificiales construidos influye de manera significativa en la abundancia gracias a la capacidad de adherencia de los materiales utilizados sobre el polen y la importancia de la morfología de los prototipos, por lo cual se tuvo en cuenta la posición, curvatura y el tamaño de los mismos.

A pesar de los resultados este estudio tuvo varias limitaciones. Se realizó la etapa de campo exclusivamente en zonas urbanas del cantón Cuenca, condicionando los resultados. Puesto que no se tomaron en cuenta otros ecosistemas, lo cual no permite hacer comparaciones entre zonas naturales y urbanas. La predominancia de especies exóticas y poca diversidad de polen nativo no permite visualizar realmente la interacción ecológica entre el colibrí-planta local. El tiempo de muestreo limitado de doce días, es otro de los factores limitantes en el estudio al no tener en cuenta estaciones y periodos florales. Esto puede afectar a la representatividad de los datos y reducir la posibilidad de obtener resultados significativos en cuanto a la cantidad de polen recolectado. También el no tomar en cuenta otras áreas del cuerpo del colibrí para obtener el polen, limita la cantidad de granos de polen obtenido. Otra limitación es que la mayoría de granos de polen no se logró llegar a ninguna identidad vegetal, por más que se usó la guía de polen diseñada con vegetación presente en las áreas de estudio.

Estos resultados sugieren que los métodos no invasivos como los bebederos con fucsina pueden ser efectivos para estudiar redes de polinización en entornos urbanos, especialmente donde el uso de métodos directos como el uso de redes de niebla y captura son limitados (Jaramillo Espinosa, 2019). Para obtener mejores resultados se debe tomar en cuenta la floración estacional y aumentar los periodos de muestreo también puede influir en la diversidad y frecuencia del polen recolectado, además en la diversidad de polinizadores en la zona (Sosenski & Domínguez, 2018).

Se sugiere mejorar la posición de los estigmas artificiales para que exista mayor contacto con la frente y el pico del colibrí que visita los bebederos, y pensar en recolectar el polen en otras partes del colibrí como la barbilla y la garganta usando los prototipos de elongación en parte baja de la flor artificial.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abrahamczyk, S., Weigend, M., Becker, K., Dannenberg, L. S., Eberz, J., Atella-Hödtke, N., & Steudel, B. (2022). Influence of plant reproductive systems on the evolution of hummingbird pollination. *Ecology and Evolution*, 12(2), e8621. <https://doi.org/10.1002/ece3.8621>
- Álava Loor, C. G., & Asanza Cedeño, J. A. (2019). *Interacción entre colibríes y flora en el campus de la ESPAM MFL* [bachelorThesis, Calceta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1217>
- Amico, G., & Aizen, M. (2005). Dispersión de semillas por aves en un bosque templado de Sudamérica Austral: ¿Quién dispersa a quién? *Ecología Austral*, 15, 89-100.
- Bandera-Fernández, E., & Pérez-Pelea, L. (2018). Los modelos lineales generalizados mixtos. Su aplicación en el mejoramiento de plantas. *Cultivos Tropicales*, 39, 127-133.
- Baños, J. C. B. (2009). Amenazando la biodiversidad: Urbanización y sus efectos en la avifauna. *Ciencia y Mar*, 13(39), 61-65.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using **lme4**. *Journal of Statistical Software*, 67(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Carvajal, V., & Montalvo, E. (2021). *Colibríes, Quindes o Picaflores*. <https://biologia.epn.edu.ec/index.php/colibries-ecuador>
- Carvallo, G. (2009). *Especies exóticas e invasiones biológicas*. 23(12), 15-21.
- Colwell, R. K., Rangel, T. F., Fučíková, K., Sustaita, D., Yanega, G. M., & Rico-Guevara, A. (2023). Repeated Evolution of Unorthodox Feeding Styles Drives a Negative Correlation between Foot Size and Bill Length in Hummingbirds. *The American Naturalist*, 202(5), 699-720. <https://doi.org/10.1086/726036>
- Durand, C. M. G. (2018). La defaunación de los bosques tropicales y sus implicancias ecológicas. *Deforestación en tiempos de cambio climático*, 105.
- Echeverry-Galvis, M. A., Téllez-Colmenares, N., Ramírez-Uribe, L., Cortes-Cano, J. S., Estela, F. A., & Rico-Guevara, A. (2024). Potential effects of artificial feeders on

- hummingbirds-plant interactions: Are generalizations yet possible? *Ornitología Colombiana*, 25, 2-18. <https://doi.org/10.59517/oc.e576>
- Fernández-Palacios, J. M., Morici, C., & Sociedad Española de Ecología Terrestre (Eds.). (2004). *Ecología insular: = Island ecology: recopilación de las ponencias presentadas en el Symposium de Ecología Insular, celebrado en Santa Cruz de la Palmas (Islas Canarias), del 18 al 24 de Noviembre, 2002.*
- Figuroa, G. (2005). *La fecundidad y su relación con variables socioeconómicas, demográficas y educativas aplicando el Modelo de Regresión Poisson* [Monografía, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS]. [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/figuroa\\_ag/cap3.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/monografias/basic/figuroa_ag/cap3.pdf)
- Gil González, E. (2023). *Eichhornia crassipes. El paradigma de las plantas acuáticas invasoras* [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/items/4f5a2c56-61a3-4d17-a3dd-a1ad9032e637>
- Harper, J., & Hawksworth, D. (1994). Biodiversity: Measurement and estimation. Preface. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 345(1311), 5-12. <https://doi.org/10.1098/rstb.1994.0081>
- Jaramillo Espinosa, M. B. (2019). *Influencia del sexo y edad en la carga de polen de tres especies de colibríes en dos bosques altoandinos del Sur del Ecuador* [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9302>
- Lasprilla, L. R., & Sazima, M. (2004). Interacciones planta-colibrí en tres comunidades vegetales de la parte suroriental del Parque Nacional Natural Chiribiquete, Colombia. *Ornitología Neotropical*, 15, 183-190.
- Lawrence, S. L., & Hazlehurst, J. (2023). Hummingbird foraging preferences during extreme heat events. *Ecology and Evolution*, 13(5), e10053. <https://doi.org/10.1002/ece3.10053>
- Lenth, R. V. (2017). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means* [Dataset]. The R Foundation. <https://doi.org/10.32614/cran.package.emmeans>
- Martínez-García, V., & Ortiz-Pulido, R. (2014). Redes Mutualistas Colibrí-planta: Comparación En Dos Escalas Espaciales. 2014, 25, 273-289.
- Micro-shot Technology Co. (2019). *MShot Image Analysis System* (Versión 1.1.6) [Software]. Micro-shot Technology Co. <https://www.m-shot.com/>

- Osorno Acosta, V. (2014). Revisión sobre los impactos generados por la competencia entre plantas nativas e introducidas como base para el control de *Ulex europaeus* en la Ciudad de Bogotá DC. *Revista de Tecnología*, 13(1), 108-113.
- Peña, M., & Peña, A. (2020). Colibríes, una historia de belleza y polinización. *Revista Ambiental ÉOLO*, 19, 204-215.
- Pérez de Paz, J., Febles, R., Fernández-Palacios, O., & Olangua Corral, M. (2017). Flores y polen. Éxito reproductivo de las angiospermas en Canarias. *Revista de la Academia Canaria de Ciencias*, 29(1), 111-202.
- Perez Toffoletti, J. (2018). *El rol de los polinizadores en la sustentabilidad de agroecosistemas argentinos* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73791>
- Razanajatovo, M., Schurr, F. M., Muhthassim, N., Troesch, S., & Knop, E. (2024). Pollen load, pollen species diversity and conspecific pollen carried by pollinators across 24-hour cycles. *Basic and Applied Ecology*, 78, 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2024.04.008>
- Rejón, D., Suarez, C., Alche, J., Castro, A., & Rodríguez, M. (2010). Evaluación de diferentes métodos para estimar la calidad del polen en distintos cultivares de olivo (*Olea europea* L.). *Polen*, 20, 61-72.
- Rstudio (Versión 2024.12.1). (2025). [Software]. Posit Software, PBC. <https://posit.co/products/open-source/rstudio/>
- Sáez, A., Sabatino, M., & Aizen, M. (2014). La diversidad floral del borde afecta la riqueza y abundancia de visitantes florales nativos en cultivos de girasol. *Ecología austral*, 24(1), 94-102.
- Serrano Serrano, M., Rolland, J., Clark, J., Salamin, N., & Perret, M. (2017). Hummingbird pollination and the diversification of angiosperms: An old and successful association in Gesneriaceae. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284, 20162816. <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2816>
- Sonne, J., Dalsgaard, B., Borregaard, M. K., Kennedy, J., Fjeldså, J., & Rahbek, C. (2022). Biodiversity cradles and museums segregating within hotspots of endemism.

*Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 289(1981), 20221102.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2022.1102>

Sosenski, P., & Domínguez, C. (2018). *El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico*. 89(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2168>

Torres-Vanegas, F., Hadley, A. S., Kormann, U. G., Jones, F. A., Betts, M. G., & Wagner, H. H. (2021). Tropical deforestation reduces plant mating quality by shifting the functional composition of pollinator communities. *Journal of Ecology*, 109(4), 1730-1746.  
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13594>

Vargas Valverde, I., Campos Alvarado, A., Niño Rodríguez, N., Simón, R., Piñarez Espejo, Y. M. G., Hernández Rivera, Á., & Avalos, G. (2022). Redes de interacción colibrí-planta en un área abierta con robledales en el Cerro de La Muerte, Costa Rica. *Zeledonia*, 26(1), 26-38.

Vargas-Valverde, I., Campos-Alvarado, A., Niño-Rodríguez, N., Simón Vallejo, R., Espejo, Y., Hernandez-Rivera, Á., & Avalos, G. (2022). *Hummingbird-plant interaction networks in an open area with oak groves in Cerro de La Muerte, Costa Rica*. 26, 26-38.