

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Departamento de Ambiente y Desarrollo

Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación

**Diversidad y abundancia de abejas y avispa (Hymenoptera: Aculeata,
Proctotrupomorpha, Ceraphronoidea, Ichneumonoidea) en un gradiente
altitudinal en San Antonio de Oriente, Honduras**

Estudiante

Luis Cornelio Callejas Corrales

Asesores

Eric van den Berghe, Ph.D.

Oliver Komar, Ph.D.

Honduras, agosto 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER

Vicepresidenta y Decana Académica

ERIKA TENORIO MONCADA

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Agradecimientos

Se agradece cordialmente a la Agencia Suiza del Desarrollo y la Cooperación COSUDE la cual permitió la realización de esta investigación por proveer financiamiento a los proyectos orientados a cambio climático. Se agradece igualmente al Doctor Jesús Orozco por proveer los instrumentos necesarios en el laboratorio de entomología. Se hace mención a los identificadores de la plataforma iNaturalist® John Ascher y Luis Herrera por su gran aporte en la identificación de las muestras. De igual manera, se agradece a los guardabosques Angel Ramos y Wilfredo Ramos por su ayuda con la recolección de muestras.

Contenido

Agradecimientos	3
Índice de Cuadros.....	6
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Metodología.....	14
Descripción del Sitio de Estudio.....	14
Trampas Pana.....	15
Trampas Malaise.....	17
Identificación de las Capturas	18
Análisis de Datos	18
Resultados y Discusión.....	21
Documentación de Abejas y Avispas Capturadas	21
Comparación de Abundancia y Riqueza en los Diferentes Pisos Altitudinales	29
Tasa de Reducción de Abundancia y Riqueza de Abejas y Avispas.....	31
Comparación Entre los Métodos de Captura para abejas y Avispas	33
Conclusiones	36
Recomendaciones	37

Referencias.....	38
------------------	----

Anexos.....	43
-------------	----

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Capturas por especie en la totalidad del experimento	21
Cuadro 2 Presencia de especies en los diferentes pisos altitudinales (msnm)	22
Cuadro 3 Prueba de correlación Pearson para abundancia en relación con el gradiente altitudinal ..	26
Cuadro 4 Prueba de correlación Pearson para riqueza en relación con el gradiente altitudinal	27
Cuadro 5 Medidas resumen de abundancia en un gradiente altitudinal	28
Cuadro 6 Medidas resumen de riqueza en un gradiente altitudinal	29
Cuadro 7 Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para abundancia de abejas y avispas con residuales..	29
Cuadro 8 Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para riqueza de abejas y avispas con residuales	29
Cuadro 9 Prueba ANDEVA para abundancia de abejas y avispas	30
Cuadro 10 Prueba ANDEVA para riqueza de abejas y avispas	30
Cuadro 11 Prueba de separación de medias Duncan para abundancia de abejas y avispas.....	31
Cuadro 12 Prueba de separación de medias Duncan para riqueza de abejas y avispas	31
Cuadro 13 Prueba ANDEVA entre métodos de captura en base a la abundancia capturada	33
Cuadro 14 Prueba de separación de medias Duncan como comparación de métodos de captura.....	33
Cuadro 15 Comparación de especies por método de captura en los pisos altitudinales con Trampas Malaise.....	34

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de los puntos de muestreo del estudio.....	15
Figura 2 Trípodes utilizados con las trampas pana de colores en el estudio	16
Figura 3 Representación de trampas Malaise utilizadas en el estudio.....	17
Figura 4 Abundancia de abejas y avispas por vaso por día.....	24
Figura 5 Riqueza de abejas y avispas por vaso por día	24
Figura 6 Abundancia de abejas y avispas en el gradiente altitudinal	25
Figura 7 Riqueza de abejas y avispas en el gradiente altitudinal.....	26
Figura 8 Abundancia de abejas y avispas con muestras temporales promediadas.....	27
Figura 9 Riqueza de abejas y avispas con muestras temporales promediadas	28

Índice de Anexos

Anexo A Datos crudos de abundancia	43
Anexo B Datos crudos de riqueza	44
Anexo C Capturas en trampas Malaise	45
Anexo D Ecuaciones de la tasa de degradación de la abundancia de abejas	46
Anexo E Ecuaciones de la tasa de degradación de la riqueza de abejas	47

Resumen

Las abejas son un componente crítico en cualquier ecosistema por el papel su rol en la polinización. Debido a diferentes factores incluyendo el cambio climático, las poblaciones de abejas y avispas se han reducido alrededor del mundo. En la presente investigación, se documenta la abundancia y riqueza de abejas y avispas en un gradiente altitudinal de 1,300 m que representa diferencias de temperatura alrededor de 4 grados centígrados para observar que efectos podría tener el cambio climático sobre estos insectos. Se utilizaron los métodos de captura de trampas pana de colores y Malaise con un tiempo de recolección de un mes. Se capturaron 39 especies del orden Hymenoptera con un total de 415 capturas. Se obtuvo una correlación directa entre la altura sobre nivel del mar y la abundancia (82%) y riqueza (71%) de abejas y avispas. Dicha relación alcanza un valor de R^2 de 90% con la riqueza y de 96% con la abundancia con base en los promedios de captura por vaso por día ($p < 0.05$). La tasa de reducción en la abundancia de las abejas y avispas en el gradiente altitudinal es del 32% por cada descenso de 300 m lo cual representa un cambio en la temperatura de 1°C. Los resultados indican que los modelos climáticos con un aumento de temperatura de 0.5 centígrados cada década, podrían significar una gran disminución en la población de abejas y avispas. Es importante realizar estudios durante todo el año y en diferentes ecosistemas para entender mejor este fenómeno.

Palabras Clave: abundancia de polinizadores, Apidae, Apocrita, Apoidea, Biodiversidad Cambio climático.

Abstract

Bees are a critical component of any ecosystem because of their critical role in pollination., Bee and wasp populations have declined around the world due to different factors including climate change. In the present research, we document the abundance and diversity of bees and wasps in an altitudinal gradient of 1300m representing temperature changes around 4 degrees Celsius to observe what effects climate change could have on these insects. Sampling was conducted during one month via colored pan traps and Malaise traps. Thirty-nine species of the order Hymenoptera were captured with a total of 415 captures. A direct correlation was obtained between the altitude above sea level and the abundance (82%) and diversity (71%) of bees and wasps. This relationship increases to an R^2 value of 90% for diversity and 96% for abundance based on the average number of bees captures per day ($p < 0.05$). The rate of reduction in bee and wasp abundance along the altitudinal gradient is 32% for every 300 m decrease representing a 1°C change in temperature. The present results indicate that climate models with a temperature increase of 0.5°C every decade could exacerbate the declining bee population. It is important to conduct studies throughout the year and in different ecosystems to better understand this phenomenon.

Keywords: Apidae, Apocrita, Apoidea, Biodiversity, Climate change, pollinator abundance.

Introducción

Las mayoría de especies de abejas pertenecen a la superfamilia Apoidea, de la cual hay alrededor de 25,000 especies a nivel mundial (Carvajal, 2020). Dentro de la superfamilia Apoidea, se estima que existen 6,000 especies de abejas en la región neotropical (Nates Parra, 2005). Existen además, múltiples familias de abejas y avispas las cuales se categorizan en otras superfamilias del suborden Apocrita (Akter et al., 2019). Con esta gran diversidad de abejas y avispas es evidente su importancia en los ecosistemas naturales.

Esta diversidad cumple una función crítica para mantener la salud de los ecosistemas por sus servicios de polinización. La polinización juega un papel esencial en un tercio de todos los productos agrícolas disponibles, entre ellos, la mitad son polinizados por abejas (Miñarro Prado et al., 2018). La polinización representa 217 mil millones de dólares al año en la economía agrícola (Sharm el-Sheikh, 2018), además del valor económico de productos directos de la apicultura como la miel, polen, jalea real y pan de abeja. Solo en los Estados Unidos los productos de la apicultura conllevan un valor anual entre USD 15 a 20 mil millones cada año (PANNA, 2012).

Adicionalmente, las abejas y avispas tienen un papel invaluable de polinización en angiospermas silvestres (Barbier, 2011; Brown y Paxton, 2009). Dentro de todas las plantas florales, más del 85% son polinizadas por las abejas y avispas, por lo cual, se les considera los principales polinizadores del mundo (Javorek et al., 2002). Mediante esta polinización se proveen diversos servicios y procesos ecosistémicos que aportan al bienestar de la agricultura y vida cotidiana (Daily y Matson, 2008). Las avispas también fungen la función de depredadores dentro de las superfamilias Vespoidea y Ichneumonoidea las cuales ayudan a controlar la abundancia de otras especies para el balance dentro de los ecosistemas. Mediante estos aportes, las avispas y las abejas logran ser parte de los 417 mil millones de dólares al año que se atribuyen a los servicios ecosistémicos (Sumner et al., 2018).

Hay un consenso que la principal causa de reducción de abejas son los agroquímicos. Estos aplicados a cultivos contaminan a los polinizadores al momento de recolectar el polen (Devillers y

Pham-Delegue, 2002). Al mismo tiempo, el cambio climático afecta la flora y fauna del mundo y también tiene el potencial de afectar abejas. En el estudio realizado por Moritz y Agudo (2013) se proyecta una posible reducción de especies de plantas en un 57% para el 2080 por el cambio climático y la degradación de hábitats alrededor del mundo. Debido a los cambios de temperatura en los ecosistemas y su flora, las abejas se ven afectadas en sus hábitats naturales, ya que la flora es su fuente de alimentos. Actualmente, las temperaturas y estaciones están cambiando y obligan a las especies a buscar mayores altitudes y crear una asincronía entre las plantas y sus polinizadores (Pyke et al., 2016).

En el campus de Zamorano hay un uso crónico de agroquímicos, que podría estar reduciendo la población de abejas. Esto se compensa con un activo programa de apicultura, sin embargo las abejas domesticas no cumplen todos los papeles de abejas silvestres en un ecosistema natural (Lima et al., 2016). Por la fuerte actividad agrícola en Zamorano se decidió tomar muestras en el “Ecosendero”, el cual es un corredor natural (Pinzon y Spence, 2013) con el objetivo de conservar la biodiversidad de la zona. El Ecosendero ofrece una representación de cuál sería la biodiversidad en el valle de Yeguaré, sin embargo, este puede estar impactado por las actividades agrícolas en sus alrededores.

Los cambios en temperatura y las condiciones atmosféricas que se presentan por el cambio climático obligará a muchas especies a emigrar a diferentes zonas en las cuales pueden subsistir (Bellard et al., 2012). Mucha de la emigración que ocurre en especies terrestres ocurre verticalmente, es decir, buscan remplazar las condiciones que se encontraban anteriormente en su hábitat por trasladarse a una mayor altitud en la misma zona.

Los cambios de fauna en un gradiente altitudinal se dan por las condiciones ambientales cambiantes entre los pisos altitudinales (Willig y Presley, 2016). Un gradiente altitudinal representa una gama de zonas climáticas en donde se espera poder evaluar potenciales efectos climáticos para las abejas y avispas de la zona además de proveer una línea base de la riqueza y abundancia actualmente presentes en el cerro Uyuca y el valle de Yeguaré. Estas diferencias a través de un gradiente altitudinal proveen pistas de como las poblaciones y la diversidad pueden ser afectados por un incremento de temperatura debido al cambio climático (Kelly y Goulden, 2008).

Un cambio de 300 metros de altura produce una variación de un grado centígrado (Pyke et al., 2016) así que se podrá observar qué cambios se podrán esperar mediante un aumento de temperatura (Bandopadhyay, 2016). En la tesis de Hernández (2021) se documenta una tendencia de aumento de 0.5 grados Centígrados por década en la región de San Antonio de Oriente, Honduras. En la investigación de Le Conte y Navajas (2008) también se pronostica un aumento en las enfermedades relacionadas con la temperatura, las cuales impactarían negativamente en las poblaciones de abejas y avispas.

En Zamorano y en la región, hay un vacío de información acerca de diversidad y abundancia de abejas y avispas. El presente trabajo intenta llenar esta brecha de información para contar con una línea base robusta. El principal objetivo fue de documentar la abundancia y riqueza de abejas y avispas en un gradiente altitudinal de 1,300 m en San Antonio de Oriente, Honduras. Este estudio es seguido por los objetivos secundarios de determinar el rango de altura óptimo para la riqueza y abundancia de las abejas y avispas dentro del gradiente altitudinal, cuantificar la tasa de reducción en abundancia y riqueza de abejas y avispas por aumento en temperatura, y por último, comparar la efectividad entre dos métodos independientes de trampas orientadas a polinizadores e insectos voladores.

Metodología

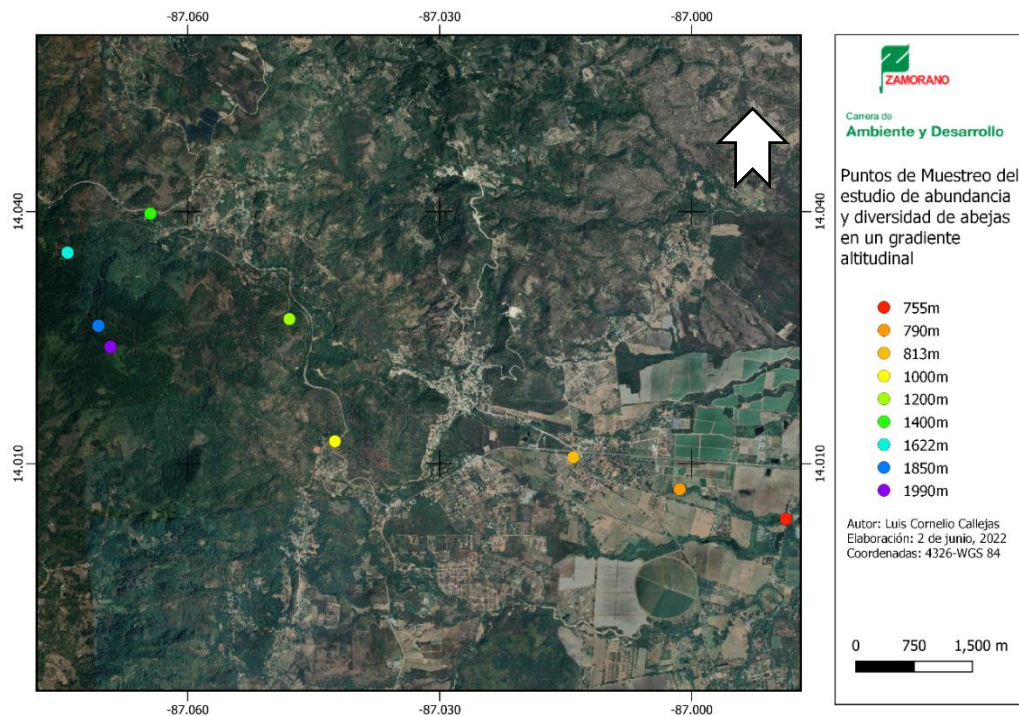
Descripción del Sitio de Estudio

La investigación se realizó en nueve puntos de muestreo en todo el gradiente altitudinal que comienza desde el río Yeguary (755 msnm) hasta la mayor altitud de la Reserva Biológica Uyuca (1,993 msnm) (Figura 1). La Reserva Biológica Uyuca tiene una superficie total de 908.2 ha, con un perímetro de 11.67 km. El trayecto de Zamorano a la Reserva Biológica abarca vegetación natural, así como parches fragmentados en proximidad de cultivos catalogada como bosque natural no protegido. Se predispuso una diferencia de altura aproximada de 200 metros entre estaciones (Revadekar et al., 2013) y se obtuvo un total de siete pisos altitudinales. Se adicionaron dos estaciones cerca del campus universitario con un total de nueve estaciones en todo el gradiente.

Se presentaron tres biomas en la ubicación del estudio los cuales son Bosque Seco Centroamericano, Bosque Pino-Encino Centroamericano y Bosque Montano Centroamericano. El Bosque Seco Centroamericano abarca las altitudes de 755 a 790 msnm de este estudio. La vegetación del trayecto entre la Universidad Zamorano y la reserva biológica se considera Bosque Pino-Encino Centroamericano el cual abarca las altitudes de 813 hasta 1.400 msnm. El Bosque Montano Centroamericano dentro de la reserva biológica Uyuca la cual abarca las altitudes mayores de 1,650 msnm del mar de esta investigación (Conservation Biology Institute, 2022; DeClerck et al., 2010).

Figura 1

Ubicación de los puntos de muestreo del estudio



Trampas Pana

Las trampas de pana de colores van dirigidas a insectos que visitan flores. Según el estudio de Campbell y Hanula (2007) estas trampas tienen una gran efectividad al momento de atraer insectos de la superfamilia Apoidea por los llamativos colores. Los colores utilizados fueron el amarillo, blanco y azul, ya que debido al estudio de Vrdoljak y Samways (2012) estos presentan mayor efectividad al momento de recolectar insectos del orden Hymenoptera. Para mejorar la recolección de la muestras las panas se elevaron entre 70 a 100 cm del piso como lo indica el estudio de McCravy y Ruholl (2017) por una mejor detección de las panas por las abejas y demás polinizadores. Para cada sitio de muestreo se utilizaron nueve trampas; tres de cada color presentándose en trípodes (Figura 2) con un total de tres trípodes en cada estación. Cada trípode se colocaba a un mínimo de 5 metros de distancia de otro dentro de la misma altura, esto permitió una mejor recolección de las abejas y avispa (Westerberg et al., 2021).

Figura 2

Trípodes utilizados con las trampas pana de colores en el estudio



El diseño de las panas fue acomodado para el largo periodo de cada repetición comparado al tiempo común que se utiliza esta trampa (Campbell y Hanula, 2007). Para lograr la recolección de datos con trampas de pana fue necesario utilizar recipientes con un volumen mayor a 200 mL, llenados con aproximadamente 50 mL después de cada repetición debido que puede evaporar o rebalsar la solución utilizada para la captura de los polinizadores. Esto permitió recopilar datos en periodos con alta evaporación debido a la temperatura y tiempos de lluvia debido que no se traspasaba el límite del volumen del recipiente. El medio que fue utilizado para atraer las abejas y avispas a las panas fue agua con azúcar (Toler et al., 2005), se agregó sal a dicho medio para la preservación y detergente como surfactante.

Las estaciones de trampas se ubicaron por conveniencia por la presencia de claros soleados atractivos para abejas y avispas (Pereboom y Biesmeijer, 2003; Young, 1985). La variable independiente fue la altura de las estaciones de muestreo y las variables dependientes fueron la riqueza y la abundancia de abejas y avispas. Se realizaron tres repeticiones de recolección de datos para las trampas pana con el objetivo de reducir la varianza y cumplir con el mínimo de capturas para un diseño completamente al azar. El periodo de la toma de muestras de las trampas pana fue desde 1 de abril hasta el 29 de abril del año 2022. Todo el proceso de recolección de datos fue documentado

mediante una bitácora donde se especifica la altura, la cantidad de panas recolectoras y los días que la trampa estuvo trabajando.

Trampas Malaise

Las trampas Malaise están orientadas a todos los insectos que vuelan sin importar si son polinizadores o no (Skvarla et al., 2021). Estas trampas consisten en una tela negra extendida en forma de carpa para que todo insecto volador se vea obligado a entrar a la trampa donde todos quedan atrapados en un recipiente con alcohol fijado en el punto más alto (Figura 3). Para este estudio se utilizaron estas trampas como una medida independiente de muestreo para comparar con el método de captura de las trampas pana. Previo a la identificación de especies, se separaron las abejas y avispas de las demás especies en una bandeja con alcohol visualizando detenidamente las capturas. Se tomó en cuenta el tiempo de operación de las trampas Malaise, así como las trampas pana para estandarizar los datos por día.

Figura 3

Representación de trampas Malaise utilizadas en el estudio



Nota. Tomada de Lamarre et al. (2012).

Las ubicaciones de las trampas Malaise se hicieron en los pisos altitudinales de 1,850, 1,650 y 755 msnm. Debido a limitantes de trampas y el propósito comparativo, no se establecieron en los siete pisos altitudinales, sino en los extremos que existe en el gradiente altitudinal. Se mantuvieron las muestras por separado de las tres altitudes para su posterior análisis. Las trampas Malaise se

revisaron tres repeticiones de recolección de datos al igual que las trampas pana. Las capturas de trampa Malaise se realizaban en un frasco recolector con alcohol al 70% el cual era renovado después de cada repetición y las capturas de panas amarillas fueron transferidos a alcohol de 70% al momento de revisión de trampas. El periodo de la toma de muestras de las trampas Malaise fue desde 6 de abril hasta el 22 de mayo del año 2022.

Identificación de las Capturas

Para la identificación se utilizó un estereoscopio de una potencia de 8x hasta 40x. Se colocaban todas las capturas en un plato Petri con alcohol y luego se catalogaban visualmente, fotografiando cada morfotipo con características diferentes. Para apoyar con la identificación, se subieron fotos a la plataforma iNaturalist® en conjunto con sus datos correspondientes de altitud, localización geográfica, método de captura y color de la trampa de pana. Se consideró como muestra identificada aquellas capturas que llegaron al nivel de Grado de investigación por la debida confirmación de dos identificadores independientes e identificación a nivel de especie. Toda captura que no llegará a dicho nivel de identificación en iNaturalist® fue asignada a una morfoespecie (Derraik et al., 2010; Oliver y Beattie, 1996). Las morfoespecies se catalogaron mediante el género u otro nivel taxonómico predispuesto en iNaturalist® y con números cuando existían múltiples morfoespecies con el mismo género, pero con características taxonómicas visualmente distintas.

Análisis de Datos

Se realizó un conteo de la cantidad de capturas obtenidas por especie observada al igual que cuantas especies se presentaban en cada trampa. Se calculó las capturas por altitud los cuales fueron sumados para encontrar los resultados por cada piso altitudinal. Se estandarizaron los datos debido a las interferencias de panas pérdidas que existieron en el estudio por medio de la siguiente fórmula donde N representa capturas totales, p es la cantidad de panas recolectadas y d son los días que la trampa estuvo en función (Ecuación 1):

$$\frac{N/p}{d} = \text{Capturas por pana por día [1]}$$

Estos datos se utilizaron para realizar gráficos de caja donde se puede apreciar las medias, medianas y la desviación estándar de manera visual. La distribución de los datos puede ser apreciada en los gráficos de dispersión en donde se visualizan todos los datos que obtuvimos en las diferentes alturas, de esta misma gráfica se obtuvo el R^2 de abundancia y riqueza (Mayorga y Gleicher, 2013). Para buscar si existe una relación entre abundancia y riqueza de abejas y avispas con la altura, se calculó los coeficientes de correlación de Pearson que miden el grado de asociación lineal entre dos variables (Dagnino, 2014). Para interpretar el coeficiente de correlación, se tomó en cuenta los rangos de Hernández et al. (2018). Los promedios de captura por vaso por día fueron graficados con el propósito de realizar una regresión lineal la cual demuestra la influencia de un factor independiente sobre uno dependiente (Zou et al., 2003). Esta regresión lineal provee información necesaria para predecir el modelo lineal a cierta altura al igual que indica que cantidad de la variación es explicada por el modelo lineal con el R^2 .

Al momento de aplicar las pruebas estadísticas se eliminaron las estaciones de 813 y 790 msnm debido a que existió intervención por parte de animales y maquinaria agrícola, lo cual no permitió el mínimo de tres repeticiones y por lo tanto tendría una influencia en los resultados (Bustos et al., 2008). Debido que las trampas de 813, 790 y 755 msnm se encontraban en el mismo piso altitudinal aún se pudo analizar cuál fue la tendencia de las poblaciones de abejas y avispas en esta altura.

Para encontrar si las muestras están normalmente distribuidas se realizó la prueba Shapiro-Wilk utilizando los residuales (Yap y Sim, 2011). Prosiguiendo a la prueba de normalidad se realizó un ANDEVA para encontrar si existe diferencias significativas entre los pisos altitudinales (van Hecke, 2012). Para determinar la altura óptima en cuanto la abundancia y riqueza de abejas y avispas se realizó una prueba estadística Duncan de separación de medias la cual clasificó las diferencias significativas entre cada tratamiento y catalogó de mayor a menor según sus resultados (García-Villalpando et al., 2001).

De los gráficos de regresión lineal podremos encontrar la ecuación de regresión lineal que provee la información suficiente para encontrar la tasa de reducción que se podría presentar con el cambio climático (Pyke et al., 2016) aplicando las siguientes Ecuaciones 2 y 3:

$$N_i - N_f = R \quad [2]$$

N_i siendo la población inicial representada por las capturas por vaso por día de abundancia y riqueza 300 metros arriba de la población final, N_f la población final representada por la abundancia y riqueza 300 metros debajo de la población inicial y R siendo el cambio de capturas por vaso por día. Una vez realizada esta ecuación se sigue el siguiente paso:

$$R \div N_i = T_r \quad [3]$$

Donde T_r representa la tasa de reducción expresado en decimales, lo cual permitió ver cuál es la reducción de abundancia y riqueza de abejas y avispas con un cambio de temperatura de 1°C. Para calcular los cambios en las poblaciones de abejas y avispas estaremos utilizando las alturas de 1,500 msnm como la población inicial y 1,200 msnm como población final debido que es la mitad entre las alturas que fueron recolectadas.

Para comparar la efectividad de las trampas de pana de colores con las trampas Malaise se tomó en cuenta las capturas por día. Los datos fueron analizados mediante una prueba de comparación de medias Duncan. Los análisis de datos en este estudio fueron realizados en los programas estadísticos RStudio e Infostat con un nivel de confianza del 95%.

Resultados y Discusión

Documentación de Abejas y Avispas Capturadas

Se capturó un total de 415 individuos representando 39 especies o morfoespecies de abejas y avispas dentro del suborden Apocrita según la plataforma iNaturalist®. La riqueza de especies varía entre pisos altitudinales, con solo pocas especies presentes en todo el gradiente altitudinal. Visualizando las diferencias en tamaño, se presentaron algunas abejas de mayor tamaño en los pisos altitudinales altos, sin embargo, no se tomó en cuenta los tamaños de las capturas al momento de realizar los análisis. La riqueza encontrada es un estimado conservador ya que varios especímenes no fueron identificados y puede haber mayor riqueza al analizar en mayor detalle las identificaciones. Para objetivo de este estudio, se utilizó las especies y morfoespecies identificadas en el Cuadro 1. De igual manera se adicionó si existía presencia de las especies en los diferentes pisos altitudinales en el Cuadro 2.

Cuadro 1

Capturas por especie en la totalidad del experimento

Especie	Capturas
<i>Apis mellifera</i>	18
<i>Trigona fulviventrís</i>	36
<i>Synoece septentrionalis</i>	1
Morfoespecie <i>Euglossa</i>	1
Morfoespecie <i>Nannotrigona</i>	2
Morfoespecie <i>Partamona</i>	3
Morfoespecie <i>Ceratina</i>	27
Morfoespecie <i>Xylocopa</i>	7
Morfoespecie <i>Colletes</i>	2
Morfoespecie <i>Augochlorella</i>	75
Morfoespecie <i>Agapostemon</i>	2
Morfoespecie <i>Austrevylaeus</i>	3
Morfoespecie <i>Pseudapis</i>	1
Morfoespecie <i>Anthidiellum</i>	2
Morfoespecie <i>Neotrypetes</i>	3
Morfoespecie <i>Osmia</i>	1
Morfoespecie <i>Liris</i>	4
Morfoespecie <i>Bethylidae 1</i>	15
Morfoespecie <i>Bethylidae 2</i>	3
Morfoespecie <i>Bethylidae 3</i>	7
Morfoespecie <i>Caenochrysis</i>	26
Morfoespecie <i>Pseudomalus</i>	2
Morfoespecie <i>Pachodynerus</i>	4
Morfoespecie <i>Polybia 1</i>	25
Morfoespecie <i>Polybia 2</i>	6

Especie	Capturas
Morfoespecie <i>Rogadinae</i>	3
Morfoespecie <i>Cremastinae</i>	2
Morfoespecie <i>Cryptini</i>	3
Morfoespecie <i>Mesochorinae</i>	5
Morfoespecie <i>Orthocentrinae</i>	35
Morfoespecie <i>Enicospilus</i>	4
Morfoespecie <i>Megarhyssa</i>	1
Morfoespecie <i>Oedemopsini</i>	1
Morfoespecie <i>Brachymeria</i>	2
Morfoespecie <i>Conura</i>	21
Morfoespecie <i>Ormyrus</i>	1
Morfoespecie <i>Belytinae</i>	1

Cuadro 2

Presencia de especies en los diferentes pisos altitudinales (msnm)

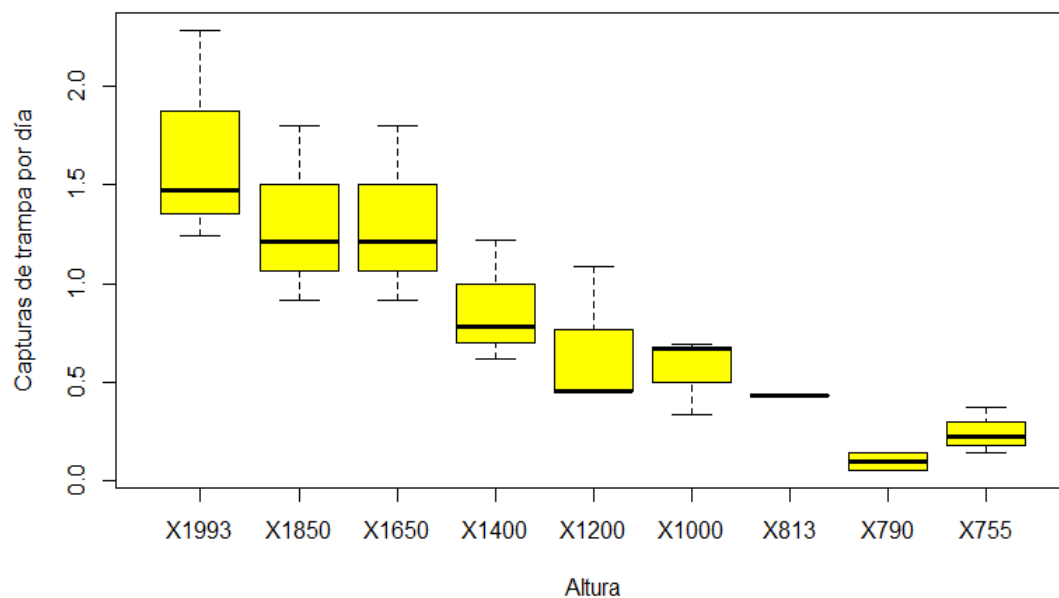
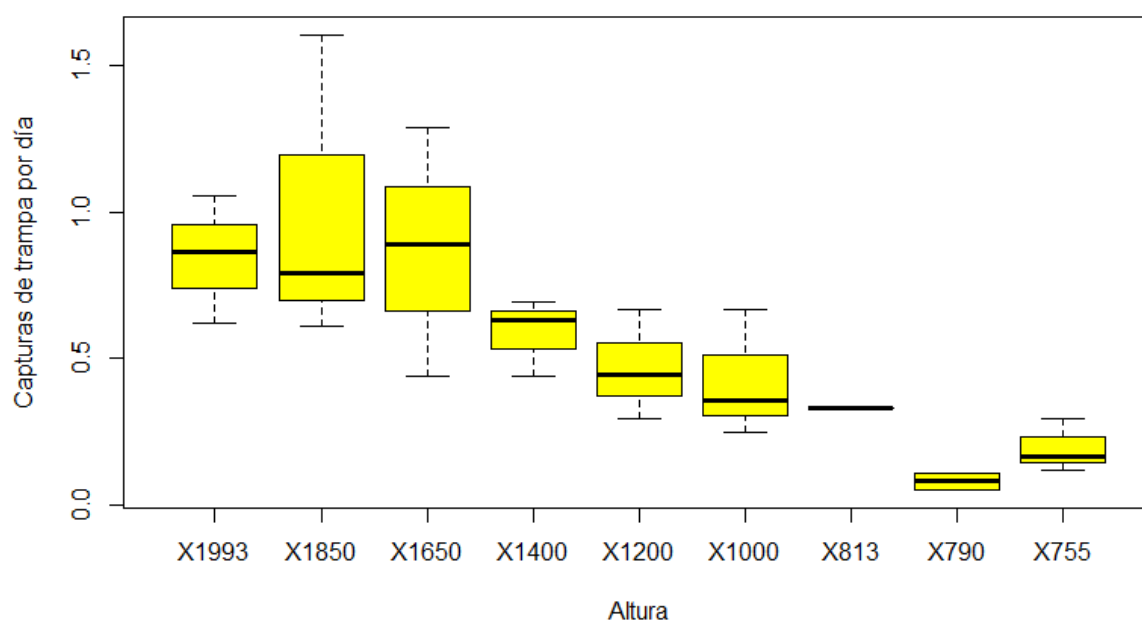
Especie	1993	1850	1650	1400	1200	1000	813	790	755
<i>Apis mellifera</i>	X	X	X	X	X		X	X	X
<i>Trigona fulviventris</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Synoecca septentrionalis</i>						X			
Morfoespecie <i>Euglossa</i>			X						
Morfoespecie <i>Nannotrigona</i>			X						
Morfoespecie <i>Partamona</i>		X							
Morfoespecie <i>Ceratina</i>	X	X	X	X					
Morfoespecie <i>Xylocopa</i>	X	X		X					
Morfoespecie <i>Colletes</i>			X						
Morfoespecie <i>Augochlorella</i>	X	X	X	X	X	X		X	X
Morfoespecie <i>Agapostemon</i>		X							
Morfoespecie <i>Austrevylaeus</i>		X		X					
Morfoespecie <i>Pseudapis</i>		X							
Morfoespecie <i>Anthidiellum</i>		X							
Morfoespecie <i>Neotrypetes</i>	X	X							
Morfoespecie <i>Osmia</i>			X						
Morfoespecie <i>Liris</i>	X	X							
Morfoespecie <i>Bethylidae 1</i>	X		X	X	X	X	X		
Morfoespecie <i>Bethylidae 2</i>		X		X	X				
Morfoespecie <i>Bethylidae 3</i>			X						
Morfoespecie <i>Caenochrysis</i>	X	X	X						
Morfoespecie <i>Pseudomalus</i>									X
Morfoespecie <i>Priocnemis</i>	X								
Morfoespecie <i>Campsomerinae</i>		X		X	X				
Morfoespecie <i>Pachodynerus</i>		X		X					
Morfoespecie <i>Agelaia</i>			X	X	X	X	X		X
Morfoespecie <i>Polybia 1</i>			X		X	X		X	X
Morfoespecie <i>Polybia 2</i>	X								
Morfoespecie <i>Rogadinae</i>	X		X						
Morfoespecie <i>Cremastinae</i>	X	X							
Morfoespecie <i>Cryptini</i>			X						
Morfoespecie <i>Mesochorinae</i>			X	X					
Morfoespecie <i>Orthocentrinae</i>	X		X						
Morfoespecie <i>Enicospilus</i>	X			X					
Morfoespecie <i>Megarhyssa</i>		X							
Morfoespecie <i>Brachymeria</i>		X	X						

Especie	1993	1850	1650	1400	1200	1000	813	790	755
Morfoespecie <i>Conura</i>		X	X	X	X	X	X	X	X
Morfoespecie <i>Ormyrus</i>			X						
Morfoespecie <i>Belytinae</i>	X								

Las abejas y avispas presentan diferentes distribuciones en el gradiente altitudinal. Se hace notar aquellas especies que se observaron en más de cuatro pisos altitudinales. Estas especies como *Apis mellifera*, *Trigona fulviventris*, la morfoespecie *Augochlorella* y *Conura* podrían presentar una resiliencia ante el cambio climático por su amplia gama de alturas en las que se capturaron. Más del 50% de las morfoespecies solamente se presentan de manera consecutiva en el gradiente, es decir, tienen un límite de altura en donde se encuentra. Por la ausencia de la mayoría de las morfoespecies en alturas bajas y la asociación de altura con temperatura podría presentar un riesgo con un alce en la temperatura. Estos resultados están en concordancia con el estudio de Kammerer et al. (2021) donde se observa una reducción de abejas y avispas silvestres con el cambio climático.

Estas capturas fueron a través de todo el gradiente altitudinal, presentándose con mayor abundancia en las altitudes superiores. En la Figura 4 se puede observar la distribución de capturas de las trampas pana de colores por los diferentes pisos altitudinales mostrando la media y la desviación estándar en la gráfica de cuadros.

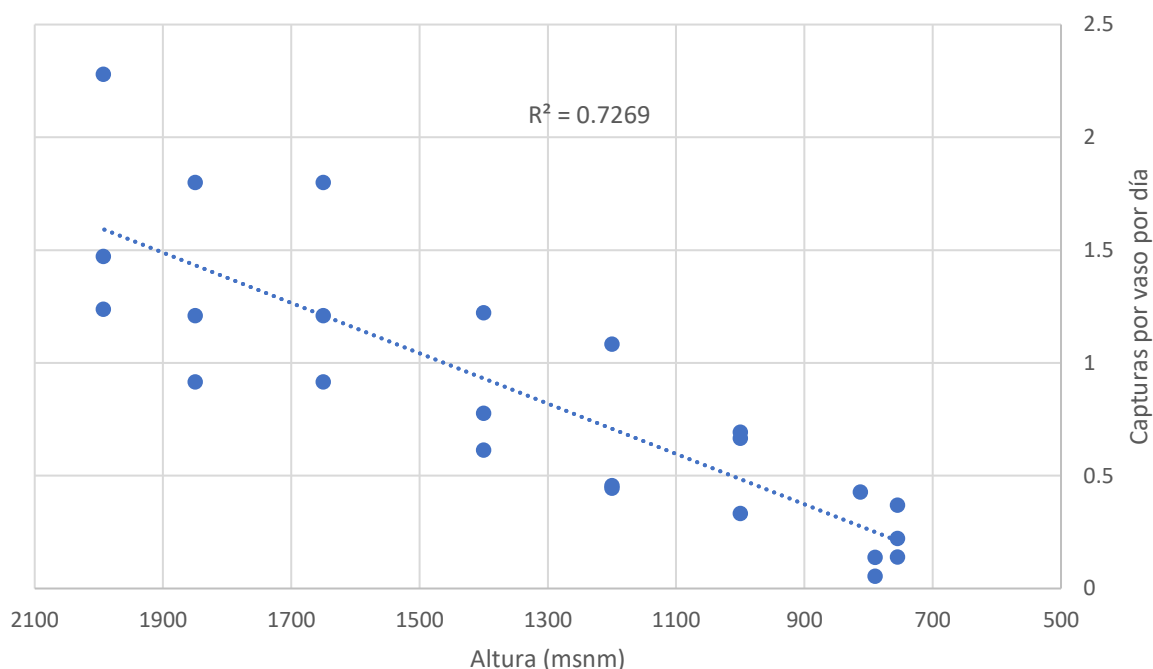
Para la Figura 5 se obtuvieron resultados similares donde se encuentra mayor riqueza en las altitudes superiores, sin embargo, se visualiza más equitativo en los tres pisos altitudinales más altos. Esto puede ser debido al hábitat en donde se encuentra los tres pisos altitudinales de mayor altitud, ya que se encuentra en la Reserva Biológica Uyuca (Le Saout et al., 2013). Al tener un área protegida, la biodiversidad de las abejas y avispas tiene un impacto positivo el cual se puede ver en la gráfica. Al igual que la Figura 4, no se puede definir diferencias significativas con un gráfico de cajas debido a la ausencia de una prueba estadística donde defina rangos.

Figura 4*Abundancia de abejas y avispas por vaso por día***Figura 5***Riqueza de abejas y avispas por vaso por día*

En la Figura 6 se puede observar con mayor exactitud como la frecuencia de capturas se relaciona con la altura. En dicha grafica se obtuvo un R^2 de 0.73 lo cual indica como los datos se ajustan al modelo lineal. Se da a entender que la mayoría (73%) de la variación es explicada por esta relación de abundancia y altura (Avdeef, 2021). Debido a la cercanía de las altitudes inferiores, no se logra apreciar la distribución de resultados en estas estaciones lo cual vuelve necesario una mejor representación visual de la abundancia.

Figura 6

Abundancia de abejas y avispas en el gradiente altitudinal

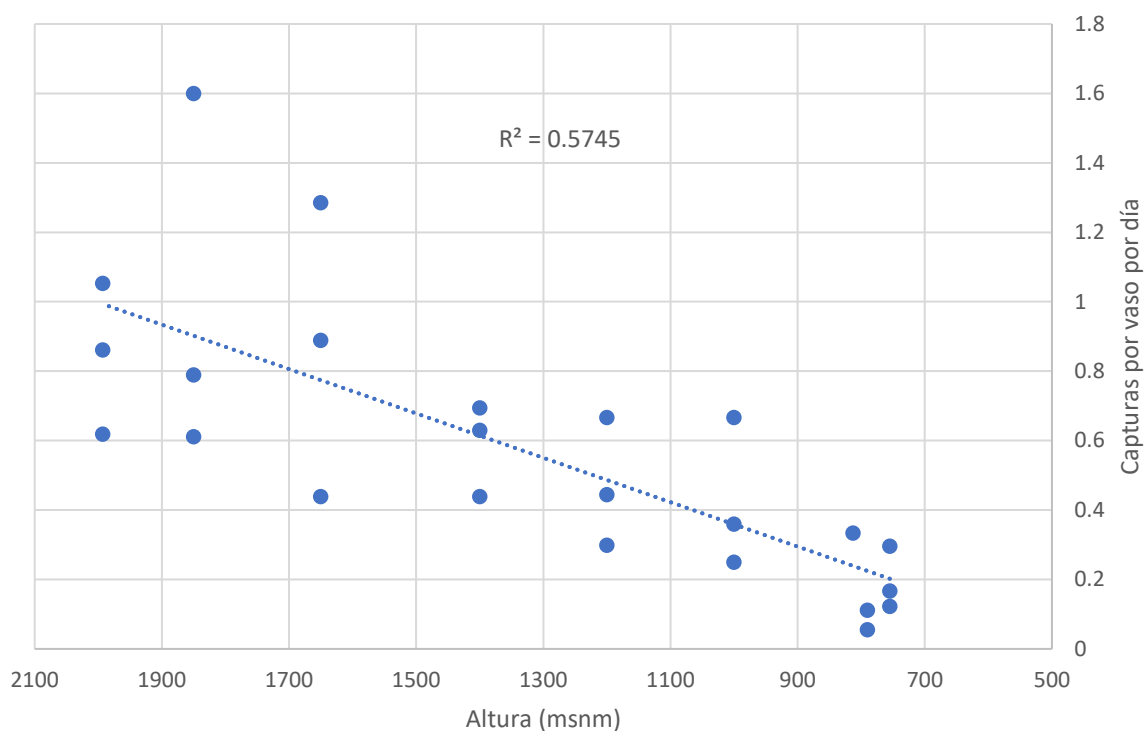


Se observa un gráfico de dispersión en la Figura 7 similar al de la Figura 6 donde se representan todos los resultados, en este caso de la riqueza de abejas y avispas. Las tres altitudes superiores presentan una similar distribución en el gráfico con unas leves variaciones comparados con los datos más bajos de cada altitud. El valor de R^2 es de 0.57 el cual indica que más de la mitad de la variación es explicada por el modelo lineal. Sin embargo, es necesario obtener otra medida de correlación para dar comprobación de los resultados para luego realizar una regresión lineal de los resultados (Gogtay y Thatte, 2017). Esta tendencia de riqueza podría presentar una disminución en las especies del

suborden Apocrita mediante va aumentando la temperatura alrededor del mundo, obligando a las abejas y avispas a migrar a zonas más altas (Jump et al., 2012).

Figura 7

Riqueza de abejas y avispas en el gradiente altitudinal



La prueba de correlación de Pearson indicó como se asocian los datos de capturas por vaso por día con la altura. En el Cuadro 3 se puede observar un valor r de 0.82, con base en esta respuesta lo analizamos en base los criterios de Hernández et al. (2018) el cual indica el nivel de correlación fuerte. Es importante indicar que no toda correlación indica causación (Ling y Kenny, 1982), sin embargo, con estos resultados podemos indicar que la abundancia de abejas y avispas tiene una correlación fuerte con la altura.

Cuadro 3

Prueba de correlación Pearson para abundancia en relación con el gradiente altitudinal

Variable	Capturas por vaso por día	Altura
Capturas por vaso por día	1.00	<0.001
Altura	0.82	1.00

Para la correlación de riqueza de abejas y avispas igualmente se aplicó la misma prueba de correlación. En dicha prueba (Cuadro 4) obtuvimos un valor r de 0.71, al analizarlo bajo la literatura de J. D. Hernández et al. (2018) se observó que esto representa una correlación fuerte. Con una correlación fuerte podemos declarar que existe una asociación entre los datos de capturas por vaso por día con la altura en la abundancia al igual que la riqueza. Esto da a entender que dentro del estudio realizado la riqueza fue cambiando, dependiendo de la altura en la que se encontraba. Con estos resultados permite realizar una regresión lineal acertada para obtener la predicción del modelo (Zou et al., 2003).

Cuadro 4

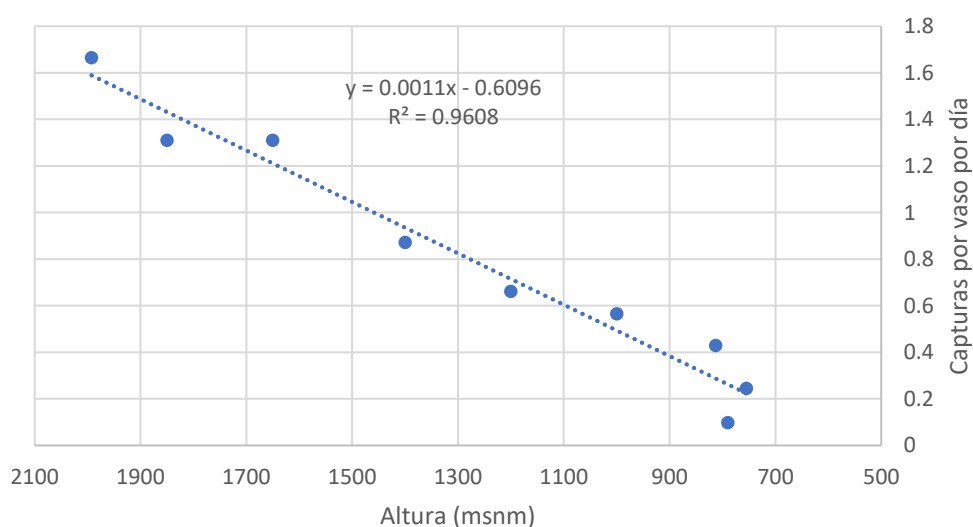
Prueba de correlación Pearson para riqueza en relación con el gradiente altitudinal

Variable	Capturas por vaso por día	Altura
Capturas por vaso por día	1.00	<0.001
Altura	0.71	1.00

La reducción de abundancia de abejas y avispas por altura es lineal con un R^2 de 0.9686 (Figura 8, Cuadro 5). Esta reducción pudo ser influenciada por más factores como la presencia de actividad antropogénica en las tres estaciones inferiores o la ubicación de área protegida en los tres pisos altitudinales superiores, pero la tendencia a través de todo el gradiente altitudinal es marcada.

Figura 8

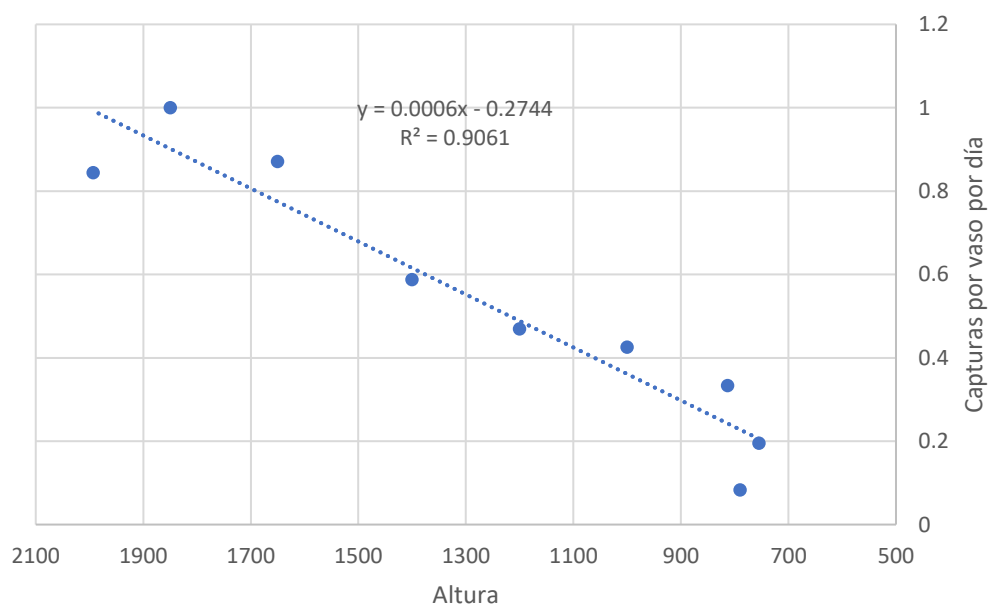
Abundancia de abejas y avispas con muestras temporales promediadas



Cuadro 5*Medidas resumen de abundancia en un gradiente altitudinal*

Tratamiento	N	Medias y D.E.	Medianas	C.V.
755msnm	3	0.24±0.12	0.22	47.72
1000msnm	3	0.56±0.20	0.67	35.53
1200msnm	3	0.66±0.37	0.46	55.27
1400msnm	3	0.87±0.31	0.78	36.12
1650msnm	3	1.31±0.45	1.21	34.36
1850msnm	3	1.31±0.45	1.21	34.36
1993msnm	3	1.66±0.55	1.47	32.88

Para los promedios de riqueza de abejas y avispas (Figura 9, Cuadro 6) se obtuvo una tendencia similar donde se reducía en proporción a la altura. En este caso la mayor riqueza se encontró a 1850 msnm con una disminución a lo largo del gradiente altitudinal. Este gráfico obtuvo un R^2 de 0.91 que demuestra un alto ajuste al modelo lineal. Con dichos resultados, los modelos de regresión lineal tendrán una gran representatividad de las poblaciones esperadas por este alto ajuste. Las regresiones lineales para obtener la tasa de reducción por un R^2 tan alto será de alta importancia.

Figura 9*Riqueza de abejas y avispas con muestras temporales promediadas*

Cuadro 6

Medidas resumen de riqueza en un gradiente altitudinal

Tratamiento	N	Medias y D.E.	C.V.	Medianas
755msnm	3	0.20±0.09	46.20	0.17
1000msnm	3	0.43±0.22	50.77	0.36
1200msnm	3	0.47±0.19	39.49	0.44
1400msnm	3	0.59±0.13	22.64	0.63
1650msnm	3	0.87±0.42	48.66	0.89
1850msnm	3	1.00±0.53	52.69	0.79
1993msnm	3	0.84±0.22	25.74	0.86

Comparación de Abundancia y Riqueza en los Diferentes Pisos Altitudinales

En el Cuadro 7 y 8 se observa las pruebas de normalidad que indica la agrupación de los datos en base a su desviación estándar. Debido que la gran mayoría de los datos se encontraron con una distribución normal se puede considerar que los métodos estadísticos paramétricos son aplicables. Esto da a entender que las poblaciones de abejas al ser muestreadas en las diferentes estaciones presento una precisión en las repeticiones del estudio.

Cuadro 7

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para abundancia de abejas y avispas con residuales

Tratamiento	N	Media y D.E.	W*	P (Unilateral D)
755msnm	3	0.00±0.12	0.97	0.68
1000msnm	3	0.00±0.20	0.80	0.13
1200msnm	3	0.00±0.37	0.76	0.03
1400msnm	3	0.00±0.31	0.93	0.50
1650msnm	3	0.00±0.45	0.96	0.63
1850msnm	3	0.00±0.45	0.96	0.63
1993msnm	3	0.00±0.55	0.91	0.41

Cuadro 8

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para riqueza de abejas y avispas con residuales

Tratamiento	N	Media y D.E.	W*	P (Unilateral D)
755msnm	3	0.00±0.09	0.92	0.47
1000msnm	3	0.00±0.22	0.93	0.49
1200msnm	3	0.00±0.19	0.99	0.77
1400msnm	3	0.00±0.13	0.92	0.47
1650msnm	3	0.00±0.42	1.00	0.93
1850msnm	3	0.00±0.53	0.88	0.32
1993msnm	3	0.00±0.22	1.00	0.87

La abundancia de abejas y avispas varía significativamente entre pisos altitudinales ($p=0.0048$) (Cuadro 9). Dicho valor-p puede ser confirmado por el valor F alto muestra un caso donde la variabilidad de las medias de los grupos es grande en relación con la variabilidad dentro de los grupos. La riqueza fue analizada igualmente bajo una prueba estadística ANDEVA (Cuadro 10), esta obtuvo similares resultados a la abundancia con un valor-p de 0.0494. Eso indica que hay diferencias estadísticas en al menos una de las altitudes para la riqueza de especies.

Cuadro 9

Prueba ANDEVA para abundancia de abejas y avispas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Altura	4.51	6	0.75	5.31	0.0048
Error	1.98	14	0.14		
Total	6.49	20			

Nota. SC=Suma de los cuadrados, gl=grados de libertad, CM=Cuadrados medios

Cuadro 10

Prueba ANDEVA para riqueza de abejas y avispas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Altura	1.50	6	0.25	2.86	0.0494
Error	1.22	14	0.09		
Total	2.72	20			

Nota. SC=Suma de los cuadrados, gl=grados de libertad, CM=Cuadrados medios

Se realizaron las separaciones de medias Duncan en base a los resultados de los ANDEVA separando las alturas entre mayor número de capturas se obtenían. Existen tres clasificaciones representadas por las letras A hasta la C (Cuadro 11). Dichas separaciones se observan con mayor abundancia entre mayor sea la altura, esto explica las diferencias estadísticamente significativas se dan de manera lineal con la altura, con un igual de medias entre 1,993, 1,850 y 1,650 msnm.

Cuadro 11*Prueba de separación de medias Duncan para abundancia de abejas y avispas*

Tratamiento	Medias	Clasificación
1993msnm	1.66	A
1650msnm	1.31	AB
1850msnm	1.31	AB
1400msnm	0.87	BC
1200msnm	0.66	BC
1000msnm	0.56	C
755msnm	0.24	C

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

La separación de medias Duncan para la riqueza de abejas y avispas (Cuadro 12) se clasifica en dos niveles con las letras A y B. En este caso hay una leve variación a comparación de la abundancia. El mayor nivel se presenta a 1,850 msnm seguido por 1,650 y 1,993 msnm, sin embargo, los demás datos presentan la misma tendencia lineal con diferencias estadísticamente con valores más altos entre mayor sea la altura.

Cuadro 12*Prueba de separación de medias Duncan para riqueza de abejas y avispas*

Tratamiento	Medias	Clasificación
1850msnm	1.00	A
1650msnm	0.87	A
1993msnm	0.84	A
1400msnm	0.59	AB
1200msnm	0.47	AB
1000msnm	0.43	AB
755msnm	0.20	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

Estos resultados presentan un principal riesgo de abundancia y riqueza con el cambio climático ya que las altitudes superiores representan las temperaturas más bajas (Smith et al., 2009). Con el cambio climático las poblaciones presentes en las altitudes más altas podrán ser remplazadas con los resultados de las poblaciones más bajas dependiendo de los cambios en temperatura.

Tasa de Reducción de Abundancia y Riqueza de Abejas y Avispas

La tasa de reducción de abundancia de abejas y avispas fue obtenida con la ecuación de la gráfica que se presenta en la Figura 8, expresa (Ecuación 4):

$$y = 0.0011x - 0.6096 [4]$$

En esta ecuación y representa las capturas por vaso por día mientras x es la altura donde se desea calcular las capturas. Al utilizar las ecuaciones de tasa de reducción con la población inicial predicha a una altura de 1,500 msnm y población final en una altura de 1,200 msnm obtuvimos una tasa de reducción en la abundancia de 31.72% cada 300 metros de diferencia en la altitud (Anexo D). Para la riqueza se toma la misma población inicial y final mediante la Ecuación 5 de la Figura 9:

$$y = 0.0006x - 0.2744 \text{ [5]}$$

Con las mismas ecuaciones de tasa de reducción se encontró un 28.77% de reducción en la riqueza de las abejas y avispas (Anexo E). Al considerar estos cambios en la altitud de 1°C de aumento de temperatura (Pyke et al., 2016) se podrá estar presentando una reducción importante en las poblaciones de abejas y avispas. Con base en los modelos climáticos presentados en la tesis de Hernández (2021) donde presenta un aumento de temperatura de 0.5°C cada década en San Antonio de Oriente, Honduras el cual está asociado con el escenario RCP 8.5 del reporte del IPCC en el 2014 (Allen, 2015). Dicho escenario representa un aumento en la temperatura estimada de 4.3°C para el 2100 con daños ambientales irreversibles. Los resultados de esta investigación representarían una reducción de la población de abejas y avispas estimada del 32% en la abundancia y 29% de riqueza cada 20 años.

En el presente estudio no se tomó en cuenta el tamaño de las abejas y avispas presentadas en cada sitio de muestreo. Sin embargo, existe evidencia que las abejas de mayor tamaño son la más afectadas por cambios en temperatura (Maebe et al., 2021) por su baja resistencia térmica a comparación de especies de abejas más pequeñas. Otro de los factores a considerar son las abejas y avispas silvestres por su polinización selectiva. Estas presentan un mayor riesgo en la reducción de su población con el cambio climático por la migración de flora a altitudes superiores (Kammerer et al., 2021; Kelly y Goulden, 2008).

Dichos resultados pueden ser corroborados con las tendencias que se presentaron en el estudio por Crimmins et al. (2009) donde se presenta similares reducciones de 25.6% en la abundancia de flora en un gradiente altitudinal por efectos del cambio climático. Esto llega a demostrar que los

efectos del cambio climático está presentando una emigración de especies a las altitudes altas y que pueda presentar una asincronía al momento de polinizar con las abejas y avispas que logran soportar temperaturas más altas (Pyke et al., 2016). Este fenómeno obliga a las poblaciones de abejas y avispas a emigrar donde se presentan las plantas de las cuales se alimentan y logran aportar el servicio de la polinización.

Es importante considerar que los resultados obtenidos en este estudio fueron tomados durante solo un mes, no tomando en cuenta todas las variaciones climáticas que se presentan durante el año al igual que no se aisló factores externos como actividad antropogénica y presencia de agroquímicos. Los factores anteriores han sido demostrados que tienen un impacto negativo en las poblaciones de abejas y avispas (Lima et al., 2016).

Comparación Entre los Métodos de Captura para Abejas y Avispas

Existe diferencias significativas (ANDEVA, $p=0.024$) entre el método de captura de trampas pana de colores y trampas Malaise (Cuadro 13). Las trampas Malaise capturaron significativamente más insectos que las trampas pana de colores (Cuadro 14). Dichos datos se pueden comparar con el estudio Shweta y Rajmohana (2016) donde se encontraron diferencias significativas con mayor presencia en las trampas Malaise.

Cuadro 13

Prueba ANDEVA entre métodos de captura en base a la abundancia capturada

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40.71	7	5.82	1.95	0.1087
Método	17.44	1	0.09	6.49	0.0242
Altura	23.27	6	3.88	1.30	0.2969
Error	65.48	22	2.98		
Total	106.19	29			

Nota. SC=Suma de los cuadrados, gl=grados de libertad, CM=Cuadrados medios

Cuadro 14

Prueba de separación de medias Duncan como comparación de métodos de captura

Método	Medias	Clasificación
Trampas Malaise	2.61	A
Trampas Pana	0.95	B

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

Las trampas Malaise no son selectivas en su método de captura lo cual permite que abejas y avispa que busquen un tipo de flor específica igualmente sea atrapada a comparación de la simulación de flor de las trampas pana de colores (Shweta y Rajmohana, 2016). Las trampas Malaise también logra una mayor efectividad en condiciones climáticas difíciles ya que su medio de captura no es afectado por la lluvia o la evaporación debido a su recipiente cerrado. Sin embargo, las trampas pana de colores presenta una ventaja al atraer directamente a polinizadores, esto vuelve este método más selectivo y por lo tanto, capturando especies de interés directamente. Se realizó la comparación de los métodos de captura de las 34 morfoespecies encontradas en los pisos altitudinales con trampas Malaise (Cuadro 15).

Cuadro 15

Comparación de especies por método de captura en los pisos altitudinales con Trampas Malaise

Especie	Trampas Malaise	Trampas Pana de Colores
<i>Apis mellifera</i>	X	X
<i>Trigona fulviventris</i>	X	X
Morfoespecie <i>Euglossa</i>	X	
Morfoespecie <i>Nannotrigona</i>		X
Morfoespecie <i>Partamona</i>	X	
Morfoespecie <i>Ceratina</i>	X	X
Morfoespecie <i>Xylocopa</i>	X	X
Morfoespecie <i>Colletes</i>	X	
Morfoespecie <i>Augochlorella</i>	X	X
Morfoespecie <i>Agapostemon</i>	X	
Morfoespecie <i>Austrevylaeus</i>		X
Morfoespecie <i>Pseudapis</i>	X	
Morfoespecie <i>Anthidiellum</i>	X	
Morfoespecie <i>Neotrypetes</i>		X
Morfoespecie <i>Osmia</i>	X	
Morfoespecie <i>Liris</i>	X	X
Morfoespecie <i>Bethylidae 1</i>	X	X
Morfoespecie <i>Bethylidae 2</i>		X
Morfoespecie <i>Bethylidae 3</i>	X	X
Morfoespecie <i>Caenochrysis</i>	X	X
Morfoespecie <i>Pseudomalus</i>		X
Morfoespecie <i>Campsomerinae</i>		X
Morfoespecie <i>Pachodynerus</i>	X	
Morfoespecie <i>Agelaia</i>	X	X
Morfoespecie <i>Polybia 1</i>	X	X
Morfoespecie <i>Cremastinae</i>	X	
Morfoespecie <i>Cryptini</i>		X
Morfoespecie <i>Mesochorinae</i>		X
Morfoespecie <i>Orthocentrinae</i>	X	X
Morfoespecie <i>Megarhyssa</i>		X
Morfoespecie <i>Oedemopsini</i>		X

Especie	Trampas Malaise	Trampas Pana de Colores
Morfoespecie <i>Brachymeria</i>	X	
Morfoespecie <i>Conura</i>	X	X
Morfoespecie <i>Ormyrus</i>		X

Se puede observar que existen 10 morfoespecies exclusivas para las trampas Malaise y 11 para las trampas pana de colores. Esta similitud en resultados sugiere que no hay un método con mayor riqueza dentro del orden Hymenoptera. Esto abre la posibilidad de utilizar cualquiera de los dos métodos si se busca encontrar un inventario de la diversidad de abejas y avispas en un lugar, o de mejor manera, utilizar los dos métodos de captura. El problema radica en la menor cantidad de capturas que realiza las trampas pana de colores, la cual podría ser corregida con agregar más panas al igual que diferentes tamaños de panas para alcanzar el mayor número de capturas y especies (Vrdoljak y Samways, 2012).

Conclusiones

El rango altitudinal con mayor abundancia y riqueza de abejas y avispas en esta investigación se encuentra entre los 1650 y 1993 msnm, que representa las alturas mayores en la región de San Antonio de Oriente, Honduras.

La tasa de reducción de la población de abejas y avispas es de 31.71% de abundancia y 28.77% de riqueza por cada grado centígrado de aumento en la temperatura promedio, tomando el gradiente altitudinal como predicción de cambio de temperatura.

La utilización de trampas Malaise presentan ventajas en cuanto a la abundancia de abejas y avispas que captura, pero presenta similitud en la riqueza capturada en comparación a las trampas pana de colores para los insectos del orden Hymenoptera.

Recomendaciones

Utilizar las trampas Malaise y trampas pana de colores como métodos en conjunto para mejores resultados en las capturas de abejas y avispas lo cual permitiría un mejor inventario y números más representativos de las poblaciones de abejas y avispas en el gradiente altitudinal.

Utilizar trampas pana de colores de diferentes tamaños para una mayor representación de flores que las abejas y avispas habitúan visitar.

Extender el periodo de toma de datos a un periodo de un año y referencias de otros años para observar los cambios en las poblaciones de abejas y avispas con las variaciones climáticas que se presentan durante el periodo seco y periodo húmedo.

Ubicar las trampas del estudio en lugares con factores de actividad antropogénica y presencia de agroquímicos inexistente para aislar el factor de altura como predicción de cambio climático.

Completar el inventario de abejas y avispas locales para facilitar el proceso de identificación para este tipo de estudio.

Referencias

- Akter, T., Akther, S., Sultana, S., Jhorna, J. A. y Begum, S. (2019). The bees (Apocrita: Hymenoptera) of Dhaka city, Bangladesh. *Journal of Biodiversity Conservation and Bioresource Management*, 5(1), 113–120. <https://doi.org/10.3329/jbcbm.v5i1.42191>
- Allen, M. R. (Ed.). (2015). *Climate change 2014: Synthesis report* [IPCC, WMO]. https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- Avdeef, A. (2021). Do you know your r2? *ADMET and DMPK*, 9(1), 69–74. <https://doi.org/10.5599/admet.888>
- Bandopadhyay, S. (2016). Does elevation impact local level climate change? An analysis based on fifteen years of daily diurnal data and time series forecasts. *Pacific Science Review a: Natural Science and Engineering*, 18(3), 241–253. <https://doi.org/10.1016/j.pusra.2016.11.002>
- Barbier, E. B. (2011). *Capitalizing on Nature: Ecosystems as Natural Assets*. Cambridge University Press.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. y Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15(4), 365–377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Brown, M. y Paxton, R. (2009). The conservation of bees: A global perspective. *Apidologie*, 40(3), 410–416. <https://doi.org/10.1051/apido/2009019>
- Bustos, A., Rodríguez Caicedo, D. y Cantor, F. (2008). ANDEVA para Diseño Completamente al Azar (DCA). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1-2), 143–148. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2240>
- Campbell, J. W. y Hanula, J. L. (2007). Efficiency of Malaise traps and colored pan traps for collecting flower visiting insects from three forested ecosystems. *Journal of Insect Conservation*, 11(4), 399–408. <https://doi.org/10.1007/s10841-006-9055-4>
- Carvajal, V. (2020). *Importancia de las abejas como polinizadores* [Departamento de Ciencias Biológicas, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador]. RIS. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21021/1/importancia%20de%20las%20abejas%20como%20polinizadores2a.pdf>
- Conservation Biology Institute. (2022). *Terrestrial Ecoregions of the World*. Data Basin. <https://databasin.org/maps/new/#datasets=68635d7c77f1475f9b6c1d1dbe0a4c4c>
- Crimmins, T. M., Crimmins, M. A. y David Bertelsen, C. (2009). Flowering range changes across an elevation gradient in response to warming summer temperatures. *Global Change Biology*, 15(5), 1141–1152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01831.x>
- Dagnino, J. (2014). Coeficiente de correlacion lineal de pearson. *Chil Anest*, 43(1), 150–153. http://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63a1a778ff_15_correlacion-2-2014_edit.pdf
- Daily, G. C. y Matson, P. A. (2008). Ecosystem services: From theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9455–9456. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804960105>
- DeClerck, F. A., Chazdon, R., Holl, K. D., Milder, J. C., Finegan, B., Martinez-Salinas, A., Imbach, P., Canet, L. y Ramos, Z. (2010). Biodiversity conservation in human-modified landscapes of

- Mesoamerica: Past, present and future. *Biological Conservation*, 143(10), 2301–2313. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.026>
- Derraik, J. G. B., Early, J. W., Closs, G. P. y Dickinson, K. J. M. (2010). Morphospecies and taxonomic species comparison for Hymenoptera. *Journal of Insect Science*, 10(108), 108. <https://doi.org/10.1673/031.010.10801>
- Devillers, J. y Pham-Delegue, M.-H. (Eds.). (2002). *Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals*. CRC Press. https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=yov_MkEt6EwC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Honey+Bees+Estimating+the+Environmental+Impact+of+Chemicals&ots=uJSFSjnAAP&sig=No5yK Cx2xG2JHaRiehOQlte1bro
- García-Villalpando, J. A., Castillo-Morales, A., Ramírez-Guzmán, M. E., Rendón-Sánchez, R. y Larqué-Saavedra, M. U. (2001). A comparison of tukey, duncan, dunnett, Hsu and bechhofer procedures for selection of means. *Agrociencia*, 35(1). https://www.researchgate.net/profile/m-e-ramirez-guzman/publication/287746863_a_comparison_of_tukey_duncan_dunnett_hsu_and_bechhofer_procedures_for_selection_of_means
- Gogtay, N. J. y Thatte, U. M. (2017). Principles of correlation analysis. *Journal of the Association of Physicians of India*, 65(3), 78–81. https://www.kem.edu/wp-content/uploads/2012/06/9-principles_of_correlation-1.pdf
- Hernández, C. M. (2021). *Series de precipitación y temperatura en Zamorano: tendencias, proyección y relación con el cambio climático*. Escuela Agrícola Panamerica, Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c833d7a4-b8b3-4585-9b6b-e137878b29d7/content>
- Hernández, J. D., Espinosa, F., Rodríguez, J. E., Chacón, J. G., Toloza, C. A., Arenas, M. K., Carrillo, S. M. y Bermúdez, V. J. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos De Farmacología Y Terapéutica*, 37(5), 587–601. <https://www.redalyc.org/journal/559/55963207025/55963207025.pdf>
- Javorek, S. K., Mackenzie, K. E. y Vander Kloet, S. P. (2002). Comparative Pollination Effectiveness Among Bees (Hymenoptera: Apoidea) on Lowbush Blueberry (Ericaceae: *Vaccinium angustifolium*). *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 345–351. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0345:CPEABH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0345:CPEABH]2.0.CO;2)
- Jump, A. S., Huang, T.-J. y Chou, C.-H. (2012). Rapid altitudinal migration of mountain plants in Taiwan and its implications for high altitude biodiversity. *Ecography*, 35(3), 204–210. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.06984.x>
- Kammerer, M., Goslee, S. C., Douglas, M. R., Tooker, J. F. y Grozinger, C. M. (2021). Wild bees as winners and losers: Relative impacts of landscape composition, quality, and climate. *Global Change Biology*, 27(6), 1250–1265. <https://doi.org/10.1111/gcb.15485>
- Kelly, A. E. y Goulden, M. L. (2008). Rapid shifts in plant distribution with recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(33), 11823–11826. <https://doi.org/10.1073/pnas.0802891105>
- Lamarre, G. P. A., Molto, Q., Fine, P. V. A. y Baraloto, C. (2012). A comparison of two common flight interception traps to survey tropical arthropods. *ZooKeys*(216), 43–55. <https://doi.org/10.3897/zookeys.216.3332>

- Le Conte, Y. y Navajas, M. (2008). *Climate change: impact on honey bee populations and diseases*. https://apinz.org.nz/wp-content/uploads/2018/06/le_conte-et-navajas-oie-ang-copy-srept-2008.pdf
- Le Saout, S., Hoffmann, M., Shi, Y., Hughes, A., Bernard, C., Brooks, T. M., Bertzky, B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Badman, T. y Rodrigues, A. S. L. (2013). Conservation. Protected areas and effective biodiversity conservation. *Science*, 342(6160), 803–805. <https://doi.org/10.1126/science.1239268>
- Lima, M. A. P., Martins, G. F., Oliveira, E. E. y Guedes, R. N. C. (2016). Agrochemical-induced stress in stingless bees: Peculiarities, underlying basis, and challenges. *Journal of Comparative Physiology a*, 202(9-10), 733–747. <https://doi.org/10.1007/s00359-016-1110-3>
- Ling, R. F. y Kenny, D. A. (1982). Correlation and Causation. *Journal of the American Statistical Association*, 77(378), 489. <https://doi.org/10.2307/2287275>
- Maebe, K., Hart, A. F., Marshall, L., Vandamme, P., Vereecken, N. J., Michez, D. y Smagghe, G. (2021). Bumblebee resilience to climate change, through plastic and adaptive responses. *Global Change Biology*, 27(18), 4223–4237. <https://doi.org/10.1111/gcb.15751>
- Mayorga, A. y Gleicher, M. (2013). Splatplot: Overcoming overflow in scatter plots. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(9), 1526–1538. <https://doi.org/10.1109/tvcg.2013.65>
- McCravy, K. W. y Ruhoff, J. D. (2017). Bee (Hymenoptera: Apoidea) Diversity and Sampling Methodology in a Midwestern USA Deciduous Forest. *Insects*, 8(3), 81. <https://doi.org/10.3390/insects8030081>
- Miñarro Prado, M., García García, D. y Martínez Sastre, R. (2018). Impact of insect pollinators in agriculture: importance and management of their biodiversity. *Ecosistemas*, 27(2), 81–90. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1394>
- Moritz, C. y Agudo, R. (2013). The future of species under climate change: Resilience or decline? *Science*, 341(6145), 504–508. <https://doi.org/10.1126/science.1237190>
- Nates Parra, G. (2005). Abejas silvestres y polinización. *Manejo Integrado d Plagas y Agroecología*(75), 7–20. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5728>
- Oliver, I. y Beattie, A. J. (1996). Designing a Cost-Effective Invertebrate Survey: A Test of Methods for Rapid Assessment of Biodiversity. *Ecological Applications*, 6(2), 594–607. <https://doi.org/10.2307/2269394>
- PANNA. *Economic Value of Commercial Beekeeping*. <http://cues.cfans.umn.edu/old/pollinators/pdf-value/EconomicValueCommercialBeekeeping.pdf>
- Pereboom, J. J. M. y Biesmeijer, J. C. (2003). Thermal constraints for stingless bee foragers: The importance of body size and coloration. *Oecologia*, 137(1), 42–50. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1324-2>
- Pinzon, J. y Spence, J. R. (Eds.) (2013). *Modelos de distribución de especies y hotspots de biodiversidad*. SOCOLEN. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13603/81750_67224.pdf?sequence=1&isallowed=y#page=292

- Pyke, G. H., Thomson, J. D., Inouye, D. W. y Miller, T. J. (2016). Effects of climate change on phenologies and distributions of bumble bees and the plants they visit. *Ecosphere*, 7(3), e01267. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1267>
- Revadekar, J. V., Hameed, S., Collins, D., Manton, M., Sheikh, M., Borgaonkar, H. P., Kothawale, D. R., Adnan, M., Ahmed, A. U., Ashraf, J., Baidya, S., Islam, N., Jayasinghearachchi, D., Manzoor, N., Premalal, K. H. M. S. y Shreshta, M. L. (2013). Impact of altitude and latitude on changes in temperature extremes over South Asia during 1971-2000. *International Journal of Climatology*, 33(1), 199–209. <https://doi.org/10.1002/joc.3418>
- Sharm el-Sheikh. (2018). *Decisión Adoptada Por La Conferencia De Las Partes En El Convenio Sobre La Diversidad Biológica*. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-14/cop-14-dec-06-es.pdf>
- Shweta, M. y Rajmohana, K. (2016). A Comparison Of Efficiencies Of Sweep Net, Yellow Pan Trap And Malaise Trap In Sampling Platygastridae (Hymenoptera: Insecta). *The Journal of Experimental Zoology*, 19, 393–396. https://www.researchgate.net/profile/shweta-mukundan-2/publication/298425507_a_comparison_of_efficiencies_of_sweep_net_yellow_pan_trap_and_malaise_trap_in_sampling_platygastridae_hymenoptera_insecta
- Skvarla, M. J., Larson, J. L., Fisher, J. R. y Dowling, A. P. G. (2021). A Review of Terrestrial and Canopy Malaise Traps. *Annals of the Entomological Society of America*, 114(1), 27–47. <https://doi.org/10.1093/aesa/saaa044>
- Smith, W. K., Germino, M. J., Johnson, D. M. y Reinhardt, K. (2009). The Altitude of Alpine Treeline: A Bellwether of Climate Change Effects. *The Botanical Review*, 75(2), 163–190. <https://doi.org/10.1007/s12229-009-9030-3>
- Sumner, S., Law, G. y Cini, A. (2018). Why we love bees and hate wasps. *Ecological Entomology*, 43(6), 836–845. <https://doi.org/10.1111/een.12676>
- Toler, T., Evans, E. y Tepedino, V. (2005). Pan-trapping for bees (Hymenoptera : Apiformes) in Utah's West Desert: the importance of color diversity. *The Pan-Pacific Entomologist*, 81(3-4), 103–113. https://www.researchgate.net/profile/vincent-tepedino/publication/286779004_pan-trapping_for_bees_hymenoptera_apiformes_in_utah's_west_desert_the_importance_of_color_diversity
- van Hecke, T. (2012). Power study of anova versus Kruskal-Wallis test. *Journal of Statistics and Management Systems*, 15(2-3), 241–247. <https://doi.org/10.1080/09720510.2012.10701623>
- Vrdoljak, S. M. y Samways, M. J. (2012). Optimising coloured pan traps to survey flower visiting insects. *Journal of Insect Conservation*, 16(3), 345–354. <https://doi.org/10.1007/s10841-011-9420-9>
- Westerberg, L., Berglund, H.-L., Jonason, D. y Milberg, P. (2021). Color pan traps often catch less when there are more flowers around. *Ecology and Evolution*, 11(9), 3830–3840. <https://doi.org/10.1002/ece3.7252>
- Willig, M. R. y Presley, S. J. (2016). Biodiversity and metacommunity structure of animals along altitudinal gradients in tropical montane forests. *Journal of Tropical Ecology*, 32(5), 421–436. <https://doi.org/10.1017/s0266467415000589>
- Yap, B. W. y Sim, C. H. (2011). Comparisons of various types of normality tests. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 81(12), 2141–2155. <https://doi.org/10.1080/00949655.2010.520163>

- Young, A. M. (1985). Pollen-collecting by stingless bees on cacao flowers. *Experientia*, 41(6), 760–762. <https://doi.org/10.1007/BF02012584>
- Zou, K. H., Tuncali, K. y Silverman, S. G. (2003). Correlation and simple linear regression. *Radiology*, 227(3), 617–622. <https://doi.org/10.1148/radiol.2273011499>

Anexos

Anexo A

Datos crudos de abundancia

Muestra 1: Abundancia por día, por vaso

Altitud (msnm)	Azul	Blanco	Amarillo
1993	0.56	0.42	0.50
1850	0.25	0.25	0.42
1650	0.33	0.39	0.64
1400	0.44	0.31	0.47
1200	0.33	0.33	0.42
1000	0.25	0.08	0.00
813	0.00	0.00	0.00
790	0.03	0.03	0.08
755	0.03	0.19	0.00

Muestra 2: Abundancia por día, por vaso

Altitud (msnm)	Azul	Blanco	Amarillo
1993		0.62	0.62
1850	0.53	0.67	0.60
1650	0.62	0.48	0.29
1400	0.26	0.26	0.26
1200	0.17	0.11	0.17
1000	0.22	0.00	0.44
813	0.10	0.05	0.29
790	0.00	0.06	0.00
755	0.19	0.07	0.11

Muestra 3: Abundancia por día, por vaso

Altitud (msnm)	Azul	Blanco	Amarillo
1993	0.44	1.00	0.84
1850	0.42	0.34	0.45
1650	0.25	0.14	0.25
1400	0.30	0.18	0.14
1200	0.18	0.13	0.14
1000	0.19	0.42	0.08
813			
790			
755	0.09	0.04	0.02

Anexo B

Datos crudos de riqueza

Muestra 1: Riqueza por día, por vaso

Altitud (msnm)	Azul	Blanco	Amarillo
1990	0.361111	0.194444	0.305556
1800	0.166667	0.194444	0.25
1600	0.194444	0.305556	0.388889
1400	0.25	0.138889	0.305556
1200	0.166667	0.25	0.25
1000	0.166667	0.083333	0
813	0	0	0
790	0.027778	0.027778	0.055556
755	0.027778	0.138889	0

Muestra 2: Riqueza por día, por vaso

Altitud (msnm)	Azul	Blanco	Amarillo
1993		0.333333	0.285714
1850	0.533333	0.6	0.466667
1650	0.571429	0.428571	0.285714
1400	0.185185	0.259259	0.185185
1200	0.166667	0.111111	0.166667
1000	0.222222	0	0.444444
813	0.095238	0.047619	0.190476
790	0	0.055556	0
755	0.111111	0.111111	0.074074

Muestra 3: Riqueza por día, por vaso

Altitud (msnm)	Azul	Blanco	Amarillo
1993	0.157895	0.631579	0.263158
1850	0.263158	0.210526	0.315789
1650	0.175439	0.105263	0.157895
1400	0.210526	0.140351	0.087719
1200	0.131579	0.078947	0.087719
1000	0.070175	0.210526	0.078947
813			
790			
755	0.070175	0.035088	0.017544

Anexo C

Resultados de capturas de trampas Malaise

Lugar	Abundancia	Riqueza	Abundancia Estandarizada	Riqueza Estandarizada
755 Zamorano Central 6 abril	10	5	0.77	0.38
755 Zamorano Central 26 abril	5	3	0.71	0.43
755 Zamorano Central 2 mayo	3	2	0.43	0.29
1850 Casa Abandonada 7 abril	47	12	3.36	0.86
1850 Casa Abandonada 15 abril	12	7	1.71	1.00
1850 Casa Abandonada 22 de mayo	40	13	1.91	0.62
1650 Uyuca 15 abril	53	13	10.60	2.60
16500 Uyuca 1 mayo	4	3	0.57	0.43
1650 Uyuca 22 mayo	72	14	3.43	0.67

Anexo D

Ecuaciones de la tasa de degradación de la abundancia de abejas y avispas

$$1.0404 = 0.0011(1500) - 0.6096$$

$$0.7104 = 0.0012(1200) - 0.7752$$

$$1.0404 - 0.7104 = 0.33$$

$$0.33 \div 1.0404 = 0.317186$$

$$0.317186 \times 100 = 31.72\%$$

Anexo E

Ecuaciones de la tasa de degradación de la riqueza de abejas y avispas

$$0.6256 = 0.0006(1500) - 0.2744$$

$$0.4456 = 0.0006(1200) - 0.2744$$

$$0.6256 - 0.4456 = 0.18$$

$$0.18 \div 0.6256 = 0.287723$$

$$0.287723 \times 100 = 28.77\%$$