

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Morfología alar y su relación con la estratificación en poblaciones  
de mariposas de la Amazonía Ecuatoriana (Lepidoptera:  
Nymphalidae)**

**Disertación previa a la obtención del título Licenciada en Ciencias  
Biológicas**

**ALICIA ANTONIA ARZANI MONTERO**

**Quito, 2023**

Certifico que la Disertación de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la señorita Alicia Antonia Arzani Montero ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

A handwritten signature in black ink, reading "F. Checa". The signature is written in a cursive, flowing style.

PhD María Fernanda Checa  
Directora de la Disertación  
Quito, noviembre de 2023

Para Bellita, en la luz de tu recuerdo, porque todo mi saber es fruto de tu amor  
eterno.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres Ana y Claudio, quienes durante toda mi vida me han brindado su apoyo incondicional para conseguir mis metas personales y académicas.

A mi familia por los principios y valores inculcados, y por su permanente confianza en mí, incluso en los momentos más difíciles

A Micaela Dávalos que a pesar de la distancia estuvo siempre presta a ayudarme.

A César Carranza, quien dedicó su tiempo a revisar mi trabajo y me impulsó a no rendirme.

A mis amigos por su alegría y permanente motivación.

Finalmente, quisiera agradecer al Pontificia Universidad Católica del Ecuador por lo conocimientos entregados y por la mística inculcada en estos años de estudio.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>4. OBJETIVO</b> .....	<b>7</b>
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	7
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	7
<b>5. MÉTODOS</b> .....	<b>8</b>
5.1 MUESTREO .....	8
5.2 DATOS MORFOLÓGICOS.....	9
5.3 RELACIÓN ENTRE ESTRATO Y ALOMETRÍA.....	11
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>13</b>
6.1 MUESTREO .....	13
6.2 DATOS MORFOLÓGICOS.....	13

6.3	RELACIÓN ENTRE ESTRATO Y ALOMETRÍA.....	15
7.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>19</b>
8.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>20</b>
9.	<b>FIGURAS.....</b>	<b>27</b>
10.	<b>TABLAS .....</b>	<b>30</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fotografía de la selección alar .....	27
<b>Figura 2.</b> Porcentajes de las subfamilias de las 20 especies estudiadas .....	28
<b>Figura 3.</b> Porcentajes de la distribución vertical de las 20 especies presentes en el estudio. ....	29
<b>Figura 4.</b> Relación entre área del ala y el volumen torácico (WA:TV), por estrato de bosque .....	29

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Listado de las variables morfológicas, por cada especie utilizadas para realizar el estudio.....	30
<b>Tabla 2.</b> Distribución vertical de las 20 especies más abundantes en la Estación científica Yasuní, capturadas entre los años 2014 y 2019.....	31
<b>Tabla 3.</b> Coeficientes estadísticos para cada estrato .....	32

## 1. RESUMEN

Estudios enfocados en gradientes altitudinales y latitudinales han contribuido significativamente a la comprensión sobre la morfología de vuelo en mariposas. A pesar de las investigaciones realizadas en selvas tropicales de tierras bajas, la atención otorgada a los gradientes verticales en estas regiones ha sido relativamente escasa. En el presente estudio, se analizaron datos recopilados durante un período de cinco años en el Parque Nacional Yasuní, en la Amazonía ecuatoriana, enfocándose en 10 individuos de 20 especies de la familia Nymphalidae. Se utilizó la metodología de marca – recaptura, para explorar la preferencia de estrato de estas especies de mariposas, y las relaciones entre la estratificación de especies y la morfología de vuelo. Los resultados mostraron que los individuos presentes en sotobosque mostraron una preferencia de hábitat, la cual estaba asociada con un conjunto de características morfológicas relacionadas con el vuelo. A pesar de esto, no hubo suficiente información con respecto a mariposas con estratificación significativa para dosel, por lo que no se pudo comparar los resultados para mariposas con estratificación significativa para ambos estratos.

Palabras clave: Nymphalidae, Estratificación, marca – recaptura, Parque Nacional Yasuní, adaptaciones morfológicas

## 2. ABSTRACT

Studies focused on altitudinal and latitudinal gradients have significantly contributed to the understanding of flight morphology in butterflies. Despite the research conducted in lowland tropical rainforests, relatively little attention has been given to vertical gradients in these regions. In the present study, data collected over a five-year period in Yasuní National Park, in the Ecuadorian Amazon, were analyzed, focusing on 10 individuals from 20 species of the Nymphalidae family. Mark-recapture methodology was employed to determine strata preference in these butterfly species and explore the relationships between species stratification and flight morphology. The results revealed that individuals in the understory exhibited habitat preference, which was associated with a set of morphological characteristics related to flight. However, there was insufficient information regarding butterflies with significant canopy stratification, preventing the comparison of results for butterflies with significant stratification in both strata.

Keywords: Nymphalidae, Stratification, mark-recapture, Yasuní National Park, morphological adaptations

### 3. INTRODUCCIÓN

Los insectos alados son un grupo distinguido debido a su habilidad para volar (Sudo, Tsuyuki, y Tani, 2000). Este mecanismo es fundamental para estos individuos, puesto que les ayuda a dispersarse, además de ser un factor importante para su supervivencia (Haag, Saastamoinen, Marden, y Hanski, 2005; Rauhamäki, Wolfram, Jokitalo, Hanski, y Dahlhoff, 2014; Vogt, Appel, y West, 2000).

Los diferentes patrones de dispersión y mecanismos de supervivencia han causado que ciertos tipos de insectos difieran entre ellos, en cuanto a su morfología y anatomía alar. Estas características morfológicas diferentes, han conllevado a cambios en su comportamiento y hasta en su rendimiento (Berwaerts, Van Dyck, y Aerts, 2002; Cárdenas, Hernández-L, Barragán, y Dangles, 2013; Zera y Denno, 1997).

La relación entre el tamaño de un organismo y sus diferentes partes o estructuras, es llamada alometría. En insectos alados, la alometría hace referencia al cambio de características de las alas en relación con el tamaño del cuerpo del insecto (Stern y Emlen, 1999). Se ha encontrado que las alas de estos animales no crecen proporcionalmente con el tamaño del cuerpo. En lugar de ello, las alas de los insectos alados crecen de manera alométrica, es decir que el tamaño relativo a la masa corporal cambia de forma predecible a medida que el cuerpo del insecto crece (J. Marden, 2000).

Adicionalmente, la alometría ayuda a comprender que ciertos cambios, en proporciones corporales, son influenciados por diferentes nichos espaciales y pueden ejercer distintas presiones selectivas sobre el comportamiento de vuelo en insectos (Stillwell, Shingleton, Dworkin, y Frankino, 2016). Por ejemplo, se conoce que el costo energético del vuelo es inversamente proporcional con el tamaño del organismo (Schmidt-Nielsen, 1975). Zera y Denno (1997) proponen que ciertos insectos suelen migrar largas distancias a pesar de su tamaño, minimizando el costo energético de vuelo a través de cambios alométricos, posibilitando otros modos de vuelo.

Pese a que estas investigaciones identifican características de la alometría con comportamientos específicos en insectos alados, la evidencia empírica también ha demostrado que la alometría puede variar fuertemente entre especies estrechamente relacionadas entre sí (Feener, Lighton, y Bartholomew, 1988; Huxley, 1924).

Por otro lado, se sabe que los músculos utilizados por los insectos para volar constituyen aproximadamente el 96% de toda su masa torácica (Ellington, 1985). Algunos rasgos morfológicos pueden predecir el rendimiento del vuelo en estos invertebrados (Berwaerts et al., 2002; Le Roy, Debat, y Llaurens, 2019). Es más, algunos estudios, muestran una relación entre el área alar (WA, por sus siglas en inglés) y el volumen torácico (TV, por sus siglas en inglés) en insectos (Berwaerts et al., 2002; Le Roy et al., 2019; J. H. Marden, 1989; Wootton, 2002).

Se conoce que el movimiento en insectos involucra una serie de estrategias, como la migración a larga distancia (Alerstam, Hedenstro, y Åkesson, 2003), la dispersión facultativa (Delattre et al., 2010), el comportamiento exploratorio de individuos limítrofes en metapoblaciones (Saastamoinen, 2007) y los movimientos esporádicos de los individuos (Baguette y Schtickzelle, 2006). Precisamente, intensos movimientos, como es el caso de migraciones y dispersión, suelen ir acompañados de cambios morfológicos, así como de modificaciones en el comportamiento de vuelo (Chapman et al., 2010; Hill, Thomas, y Blakeley, 1999).

Uno de los órdenes de insectos que se presenta de manera óptima para los estudios de cambios morfológicos son las mariposas, debido a su gran plasticidad fenotípica (Van Dyck y Wiklund, 2002) y su capacidad para adaptarse y optimizar el rendimiento en el vuelo (Mena, Kozak, Cárdenas, y Checa, 2020).

Dudley y Srygley, en su estudio sobre la fisiología alar en mariposas realizado en 1994, identificaron que alas largas y angostas son más eficientes, de manera aerodinámica, que alas cortas y anchas; puesto que las alas largas y angostas ayudan a optimizar el deslizamiento al momento del vuelo. Mientras que, otras investigaciones concluyen que hay una mejor maniobra y fuerza en el vuelo, cuando existe una mayor distancia desde el centroide del ala (WC, por sus siglas en inglés) (i.e. centro del área

del ala (DeVries, Penz, y Hill, 2010)) a la base del ala en los insectos alados (Ellington, 1984; Srygley y Chai, 1990).

Los estudios de Hall y Willmott (2000) y Mena et al., (2020), sugieren que existe una diferencia morfológica en mariposas tropicales, según el estrato forestal por el que muestran preferencia. Mena et al. (2020) demostró que especies de Nymphalidae, que habitan el bosque lluvioso del Chocó, y que se encuentran en el sotobosque (parte inferior de vegetación en un bosque) tienden a tener una mayor relación WA:TV, en comparación con las que se encuentran en el dosel (parte superior de vegetación en un bosque). Esto debido a que las mariposas que se encuentran en el sotobosque poseen esta morfología porque les ayuda a planear, y de esta manera utilizan menos costo energético que en el aleteo (Mena et al., 2020). Asimismo, ciertos estudios confirman que ciertas especies de mariposas de la familia Nymphalidae que habitan ya sea en dosel o en sotobosque, difieren morfológicamente (Cespedes, Penz, y Devries, 2015; DeVries et al., 2010; Hall y Willmott, 2000).

Por consiguiente, este estudio busca mostrar las diferencias en la alometría entre 10 individuos de 20 especies de mariposas de la familia Nymphalidae que se mueven entre el dosel o sotobosque, o que por el contrario muestran preferencia por un estrato. Para registro de datos de este posible patrón de movimiento, se utilizó la metodología marca – recaptura, que consiste en marcar con número específico en las alas la primera vez que un espécimen se recolecta y luego se libera, este número ayuda a identificarlo en caso de recaptura. Se escogió esta familia debido a su gran diversidad y a su amplio repositorio de estudios, además de presentar una variación notable en tamaño, morfología y ecología dentro del grupo (DeVries, Murray, y Lande, 1997).

La metodología marca – recaptura en mariposas permite lograr una estimación en cuanto dispersión, el tamaño de la población, así también como sus dinámicas poblacionales (Vlasanek, Sam, y Novotny, 2013). Esta metodología ha servido para entender la estructura metapoblacional en estos insectos, incluyendo la frecuencia y la distancia de su dispersión (Baguette, 2003). Por otro lado, el método marca – recaptura ha servido como herramienta para la conservación en mariposas, ya que ha

sido utilizado para estimar tamaños poblacionales y mortalidad de ciertas especies de mariposas (Nowicki et al., 2005). En este estudio esta metodología nos permite inferir en cuanto a la veracidad de los datos, así como de los resultados, permitiendo obtener estimaciones más precisas en cuanto a preferencia de estrato y su relación con la morfología alar. Hall y Willmott (2000) y Mena et al. (2020) utilizaron datos de captura para su análisis, a diferencia de esta tesis, que utiliza de marca – recaptura, y que por lo tanto, provee información más veraz en cuanto a la preferencia de estrato en Nymphalidae.

Los datos de este estudio provienen de un proyecto de monitoreo realizado entre los años 2014 y 2019, en la estación Científica Yasuní; instalación de investigación científica ubicada en el Parque Nacional Yasuní, en la Amazonía ecuatoriana y administrada por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, n.d.). Para este estudio se utilizaron las 20 especies con mayor número de recapturas dentro del proyecto. También, se consideraron las medidas morfológicas de 10 individuos por especie estudiada, las cuales fueron medidas ex situ.

Este estudio busca constatar la relación obtenida por Mena et al. (2020) y Hall y Willmott (2000). Se busca entonces comprobar que exista una preferencia por el dosel en mariposas con una proporción más baja de WA:TV. Por otro lado, se espera encontrar una proporción más alta de WA:TV, en mariposas que muestren preferencia por el sotobosque.

## **4. OBJETIVO**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la relación de la morfología alar y torácica con la preferencia de estrato (dosel o sotobosque) en 20 especies de la familia Nymphalidae atraídas a trampas con cebo en el Parque Nacional Yasuní de la Amazonía ecuatoriana.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar la preferencia de estrato, a través del índice de estratificación y metodología de marca – recaptura, en especies de la familia Nymphalidae
- Determinar las medidas corporales, como área alar y volumen torácico, de diez individuos de las especies seleccionadas de la familia Nymphalidae.
- Cuantificar la relación entre preferencia de estrato y variables morfológicas en las especies de mariposas seleccionadas de la familia Nymphalidae.

## 5. MÉTODOS

### 5.1 MUESTREO

Se utilizaron especímenes colectados en un proyecto de monitoreo realizado entre los años 2014 y 2019, en la estación Científica Yasuní (76°24'1,8"W; 0°40'16,7"S), en la provincia de Orellana, Ecuador (Checa et al., 2022). Esta estación se encuentra dentro del bosque inundado de la llanura aluvial de la Amazonía, según la clasificación del Ministerio del Ambiente del Ecuador (2012).

El diseño muestral consistió en 36 trampas Van Someren-Rydon (Hughes, Daily, y Ehrlich, 1998) distribuidas en tres transectos de 200 m de longitud. En cada transecto, se marcó seis sitios separados por al menos 40 m de distancia. En cada sitio, una trampa fue posicionada en el sotobosque (1–1.5 m) y otra en el dosel (20 - 28 m). Los sitios estaban a una altitud similar, entre los 235 y los 269 msnm. Los cebos utilizados en las trampas fueron plátano con dos días de fermentación y camarón con 15 días de fermentación, alternando entre las posiciones de cada transecto. En cada posición, se utilizó el mismo cebo tanto en el dosel como en el sotobosque.

Las trampas se revisaron diariamente durante 6 días, semanalmente, pasando un mes. Durante cada revisión se cambió el cebo, las especies más comunes y con taxonomía resuelta, fueron sujetas a la metodología marca - recaptura, que consiste en escribir un número en las alas con marcador permanente y liberarlas. Si se recolectaban de nuevo, se las podía identificar por el número en sus alas.

Los especímenes incluidos en este estudio fueron las especies con un mayor número de datos de marca – recaptura, estas especies son: *Adelpha mesentina*, *Archaeoprepona demophon*, *Batesia hypochlora*, *Catonephele acontius*, *Catonephele numilia*, *Hamadryas arinome*, *Hermeuptychia hermes*, *Megeuptychia antonoe*, *Memphis acidalia*, *Memphis moruus*, *Memphis polycarmes*, *Myscelia capenas*,

*Opsiphanes invirae*, *Pareuptychia hesionides*, *Pyrrhogyra crameri*, *Pyrrhogyra neaerea*, *Pyrrhogyra otolais*, *Temenis laothoe*, *Temenis pulchra* y *Zaretis isidora*.

Se realizó una base de datos general del proyecto, que incluyó el registro de 18 123 individuos, que corresponden a todas las especímenes capturados durante el periodo de tiempo que fue llevado a cabo el monitoreo (2014-2019). De esta base de datos general del proyecto, se extrajo información de las 20 especies seleccionadas, registrándose 9 047 individuos. A esta nueva base de datos se le realizó un proceso de depuración para que incluya únicamente los individuos que presentaban las siguientes características y condiciones, que son de interés para esta investigación: que cada individuo cuente al menos una recaptura; y que las capturas no estén distanciadas por más de tres meses de diferencia. Esto debido al ciclo esperado de vida de ciertas mariposas (Bardales et al., 2017, 2021).

La base final depurada que se utilizó para la presente investigación está integrada por 2 026 registros, que son los únicos especímenes que se recapturaron. La base incluye el nombre de la especie, el estrato en el bosque en el que se encontró el individuo y la fecha. De esta base se obtuvieron los porcentajes de las subfamilias de las 20 especies estudiadas.

## **5.2 DATOS MORFOLÓGICOS**

Los especímenes analizados se encuentran conservados en la colección de invertebrados del Museo de Zoología QCAZ de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. A partir de esta colección, se realizaron las medidas de los especímenes para los datos morfológicos de esta investigación.

Para la medición de los datos morfológicos de las 20 especies de la familia Nymphalidae, se seleccionaron 10 individuos al azar de cada especie. Para cada individuo, se realizaron mediciones del área alar (WA), la longitud del tórax (TL), la altura del tórax (TH) y el ancho del tórax. El ancho del tórax se midió con un calibrador

manual y el resto de las mediciones se realizaron a partir de fotografías digitales, utilizando la herramienta de medición en el software ImageJ.

Las fotografías de los individuos fueron tomadas con una cámara réflex digital NIKON D7500, con un lente 18-55 mm, la cámara fue colocada en un trípode y orientada en el mismo plano que las alas de las mariposas seleccionadas. Se utilizaron parámetros de exposición constante (velocidad de obturación = 1/30, ISO = 200, diafragma= 13). Para las fotografías, se seleccionaron mariposas que tenían sus alas delanteras y traseras superpuestas en una posición similar a la que se observa durante el vuelo (Altizer y Davis, 2010).

Para poder medir WA con ImageJ, se utilizó Photoshop, se seleccionó el ala delantera y trasera de las mariposas, sin tomar en cuenta el tórax, y se pintó lo seleccionado de negro, mientras que el resto fue pintado de blanco (**figura 1**). A partir de la fotografía obtenida, se utilizó el Software ImageJ, para poder determinar el área.

En total, se realizaron mediciones de 200 individuos de las 20 especies del estudio. El proceso de selección aleatoria de los individuos, la toma de las fotografías, el cálculo de las medidas del área de sus alas se realizó entre el 7 de enero del 2022 y el 24 de mayo del mismo año.

Con estas variables medidas, se calculó la relación WA:TV como parámetros relacionados con el vuelo. Donde TV (mm<sup>3</sup>) representa el volumen torácico, estimado como: longitud torácica (mm) × anchura torácica (mm) × altura torácica (mm), según Betts y Wootton (1988), y WA (mm<sup>2</sup>) representa el área alar. La relación WA:TV estimada fue según la ecuación de la investigación de Hall y Willmott (2000).

$$WA : TV = WA \times TV^{-2/3}$$

Para demostrar que las mariposas de dosel y de sotobosque difieren en cuanto a su morfología, se elevó TV a la potencia de 2/3. De esta manera, se puede controlar las diferencias geométricas a medida que aumente el área versus el volumen (Hall y Willmott, 2000).

### 5.3 RELACIÓN ENTRE ESTRATO Y ALOMETRÍA

Para estimar la preferencia de estrato de las mariposas, se utilizó un indicador, conocido como Índice de Estratificación (SI). Este indicador se calculó como la diferencia entre el número de recapturas de mariposas en el dosel y el sotobosque, dividido por el número total de capturas de cada especie. Los valores de este índice pueden variar entre -1 y 1, donde un valor cercano a -1 indica una preferencia por el sotobosque, un valor cercano a 0 indica que no hay preferencia por ningún estrato, mientras que un valor cercano a 1 indica una preferencia por el dosel, según el estudio de (Mena et al., 2020).

Para probar si los individuos de las especies de mariposas utilizadas en este estudio tenían una relación WA:TV, se proyectaron ambas variables en un gráfico, WA en el eje x y  $TV^{-2/3}$  en el eje y. Se utilizó un coeficiente de correlación de Pearson con el paquete de Software R (R Core Team, 2023), un coeficiente para las especies capturadas en dosel y otro para las especies capturadas en sotobosque. Este gráfico representa un diagrama de dispersión de la relación entre el volumen torácico (TV) y el área del ala (WA) de las 20 especies de mariposas seleccionadas, tanto para dosel como para sotobosque. Las especies utilizadas, fueron las cuales tuvieron un índice de estratificación superior a 0,6 para dosel, mientras que se tomaron en cuenta niveles inferiores a -0,6 para especies de sotobosque. Este gráfico se realizó utilizando el paquete ggplot2 (Wickham, 2016).

Se determinó la relación entre preferencia de estrato y variables alométricas con un análisis de regresión lineal simple. En este análisis, el volumen torácico (tv), elevado a la  $-2/3$ , se consideró como la variable dependiente, mientras que el área alar (wa) fue considerada como variable independiente. Se realizó una regresión lineal separada para las especies de sotobosque como para las especies de dosel, con el paquete de Software R (R Core Team, 2023).

Se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson para dosel y sotobosque, para determinar si un aumento en una de las variables se correlaciona con un aumento

o una disminución en la otra variable. De igual manera, se calculó el coeficiente de regresión lineal con su p-value, para comprender cómo las variables están relacionadas en términos de una relación lineal y evaluar si estas variables son estadísticamente significativas. Estos coeficientes fueron calculados a través del paquete de Software R (R Core Team, 2023).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 MUESTREO

De las 20 especies estudiadas, 10 pertenecen a la subfamilia Biblidinae, es decir el 50% de todas las especies, entre ellas *Batesia hypochlora*, *Catonephele acontius*, *Catonephele numilia*, *Hamadryas arinome* *Myscelia capenas*, *Pyrrhogyra crameri*, *Pyrrhogyra neaerea*, *Pyrrhogyra otolais*, *Temenis laothoe* y *Temenis pulchra* (**figura 2**). Cinco pertenecen a la subfamilia Charaxinae; *Archaeoprepona demophon*, *Memphis acidalia*, *Memphis moruus*, *Memphis polycarmes* y *Zaretis isidora*; como se observa en la figura 2, es decir el 25% de todas las especies (**figura 2**). A esta le sigue la subfamilia Satyrinae con tres especies, *Hermeuptychia hermes*, *Megeuptychia antonoe* y *Pareuptychia hesionides*, es decir el 15% (**figura 2**). Finalmente, las subfamilias Limentidinae y Morphinae fueron las que menor cantidad de especies tuvieron, con una especie por subfamilia *Adelpha mesentina* y *Opsiphanes invirae* respectivamente, es decir el cinco por ciento de las 21 especies estudiadas (**figura 2**).

### 6.2 DATOS MORFOLÓGICOS

Con respecto a las medidas morfológicas, la especie con mayor área alar fue *Archaeoprepona demophon* (15,91 cm<sup>2</sup>), seguida por *Hamadryas arinome* (12,78 cm<sup>2</sup>). Mientras que *Hermeuptychia hermes* fue la especie con menor área alar (2,09 cm<sup>2</sup>), con *Pareuptychia hesionides* (4,17 cm<sup>2</sup>), como se observa en la **tabla 1**.

Por otro lado, la especie con mayor volumen torácico fue *Pyrrhogyra otolais* (9,37 cm<sup>3</sup>), seguido de *Pareuptychia hesionides* (6,48 cm<sup>3</sup>). En contraste, *Hermeuptychia hermes* también fue la especie con menor volumen torácico (0,08 cm<sup>3</sup>), además de *Archaeoprepona demophon* (0,91 cm<sup>3</sup>) (**tabla 1**).

Referente a la relación WA:TV, *Pyrrhogyra otolais* fue la especie que mayor proporción tuvo (42,34 cm) seguido de *Hamadryas arinome* (30,53 cm). Mientras que *Hermeuptychia hermes* (0,18 cm) fue la especie con la relación más baja de todas las especies estudiadas, a esta le sigue *Opsiphanes invirae* (10,25 cm) según la **tabla 1**.

Asimismo, se puede observar que *Pyrrhogyra otolais* es la especie con mayor volumen torácico (9,37 cm<sup>3</sup>) y la mayor relación WA:TV (42,34 cm), en tanto que su área alar es de 4,52 cm<sup>2</sup>. En cambio, *Hermeuptychia hermes* tiene el menor volumen torácico (0,08 cm<sup>3</sup>), y menor área alar (2,09 cm<sup>2</sup>), así como la relación WA:TV más baja (0,18 cm) de todas las especies estudiadas. *Archaeoprepona demophon* tuvo la mayor área alar (15,91 cm<sup>2</sup>) y uno de los menores volúmenes torácicos (0,91 mm<sup>3</sup>) de todas las especies estudiadas (después de *Hermeuptychia hermes*) y tiene una relación WA:TV de 14,48 cm (**tabla 1**).

Las mariposas son animales poiquiloterms y, por lo tanto, su tasa metabólica se ve limitada por la temperatura ambiental (Heinrich, 1974). En respuesta al aumento de la temperatura, las frecuencias de aleteo de las mariposas aumentan, lo que resulta en un mayor consumo de energía (Polcyn, 1988). En caso de que el área del ala sea reducida, las mariposas pueden ajustar su frecuencia de aleteo para satisfacer sus demandas energéticas (Krishna, Cho, Wehmann, Engels, y Lehmann, 2020), como podría ser el caso de *Hermeuptychia hermes* y *Pareuptychia hesionides*. Es decir, que las mariposas adaptan su frecuencia de aleteo según la temperatura ambiental para regular su gasto energético.

Las mariposas que tienen alas de mayor tamaño tienen una mayor área de superficie disponible para absorber o perder calor, lo que resulta en una ventaja al momento de regular su temperatura corporal (Wassehthal, 1975), como podría ser el caso de *Archaeoprepona demophon* y de *Hamadryas arinome*. Sin embargo, tener un área alar grande puede requerir una mayor cantidad de energía para mantenerse en vuelo, lo que puede aumentar el consumo de energía y, por lo tanto, limitar el tiempo de vuelo y la eficiencia de vuelo en general (Dudley y Srygley, 1994; Ellington, 1984).

### 6.3 RELACIÓN ENTRE ESTRATO Y ALOMETRÍA

Como se observa en la tabla 2, todos los individuos de las especies *Batesia hypochlora* y *Pareuptychia hesionides* solo se encontraron en el sotobosque, es decir el 100% de los individuos para cada especie. A estas le sigue *Opsiphanes invirae* con 94,6% de individuos presentes en el sotobosque. Por otro lado, la mayoría de los individuos de *Adelpha mesentina* se encontraron en el dosel (49 de 57), es decir el 86% de sus individuos, a esta le sigue *Temenis pulchra* con 73,1% según se puede ver en la **figura 3**.

Con respecto al índice de estratificación, *Adelpha mesentina* fue la única especie que mostró preferencia hacia el dosel, de acuerdo con el SI calculado (SI = 0,72), de todas las especies estudiadas, como se observa en la **tabla 2**. Mientras que, *Batesia hypochlora* y *Pareuptychia hesionides* fueron las especies con total preferencia al sotobosque (SI = 1,00) (**figura 3**). Las siguientes especies tuvieron preferencia al sotobosque, con un SI inferior a -0,60: *Opsiphanes invirae* y *Catonephele acoutius* (ambas con un SI = -0.89). *Archaeoprepona demophon*, *Hermeuptychia hermes*, *Myscelia capenas* y *Pyrrhogyra otolais* también mostraron preferencia por el sotobosque. Mientras que *Catonephele numilia*, *Hamadryas arinome*, *Megeuptychia antonoe*, *Memphis acidalia*, *Memphis moruus*, *Memphis polycarmes*, *Pyrrhogyra crameri*, *Pyrrhogyra neaerea*, *Temenis pulchra*, *Temenis laothoe* y *Zaretis isidora* no presentaron preferencia por ningún estrato (**tabla 2**).

Con respecto a las especies anteriormente mencionadas en los datos morfológicos, literal b, podemos observar que el 86% de individuos de *Pyrrhogyra otolais* se encontraron en el sotobosque. Para la especie *Hermeuptychia hermes*, el 90,2% de los individuos se encontraron en el sotobosque. Mientras que la mayoría de los individuos de *Archaeoprepona demophon* se encontraron en el sotobosque, es decir el 85%, según la **figura 3**.

Se ha propuesto que las mariposas que viven en microhábitats distintos se ven influenciadas por variaciones en la temperatura y la cantidad de luz que tienen

disponible (Devries, Alexander, Chacon, y Fordyce, 2012). Esto se debe en parte a que las selecciones de diferentes tipos de morfologías se ven determinadas por las condiciones de microhábitats y estas morfologías, a su vez, determinan los modos de vuelo (DeVries et al., 2010). En selvas tropicales de tierras bajas, como es el caso de la zona de estudio, los gradientes climáticos pueden variar aún más en estratos verticales del mismo lugar, que las selvas tropicales que se encuentran a diferentes latitudes y elevaciones (Condit, 1998).

Las especies del género *Morpho* (Satyrinae – Nymphalidae) muestran notables diferencias en su ecología, y estas diferencias se deben en gran medida a las presiones selectivas que enfrentan en diferentes microhábitats. Algunas de estas especies son conocidas por volar en el dosel del bosque, mientras que otras se encuentran principalmente en el sotobosque (Le Roy et al., 2021). Por ejemplo, en el caso de esta investigación, *Batesia hypochlora* y *Pareuptychia hesionides* son dos especies que han sido observadas exclusivamente en el sotobosque. Sin embargo, algunas especies tienen la capacidad de volar tanto en el dosel como en el sotobosque durante distintos períodos del día, lo que sugiere una mayor flexibilidad en sus preferencias de estrato (DeVries et al., 2010). Por otro lado, existen algunas especies que no parecen mostrar una preferencia clara por ningún estrato en particular.

Al observar la **figura 4**, se puede evidenciar una correlación lineal positiva en especies de sotobosque (0.89). A medida que el volumen de tórax es mayor, el área del ala es mayor. En cambio, para dosel, la correlación lineal es negativa. El hecho de que haya solo una especie para dosel significaría un limitante importante para esta investigación. Los resultados encontrados para dosel son indicativos y no pueden ser utilizados para inferir en la discusión, ya que no existen suficientes observaciones. En consecuencia, los resultados obtenidos para el sotobosque serán los únicos que se tomarán en cuenta en este estudio.

Para dosel, el coeficiente de correlación de Pearson, como se observa en la tabla 3 (-0,046), es cercano a 0, lo que quiere decir que es bastante débil entre las variables, WA y TV-2/3. Este valor sugiere que no existe una relación lineal significativa entre estas dos variables (Freund, Miller, y Miller, 2000). De igual modo, el

coeficiente de regresión lineal es bajo para dosel (-0.015). Además, se podría decir por el valor numérico, que los cambios en el área del ala tienen un impacto prácticamente nulo en el volumen torácico (Witte y Witte, 2017). Se puede entonces decir que, el valor de  $p$  (0.9), muestra que los datos no proporcionan evidencia suficiente para respaldar la existencia de una relación estadísticamente significativa entre las dos variables (Montgomery y Runger, 2011), debido a que solo se obtuvo una especie, con sus respectivos especímenes para dosel.

En cuanto a los datos analizados para sotobosque, como se observa en la **tabla 3**, para el coeficiente de correlación de Pearson (0.89), existe una correlación positiva fuerte, lo que significa que los valores de las dos variables están altamente relacionados de manera lineal. En este caso, un cambio en una variable está asociado con un cambio sustancial en la otra variable (Witte y Witte, 2017). El coeficiente de regresión lineal (0.09) indica que hay una relación positiva débil entre las dos variables, pero los cambios en una variable tienen un efecto limitado en la otra variable (Freund et al., 2000). A pesar de esto, el valor casi nulo de  $p$ -value, muestra una relación estadísticamente significativa entre las variables y respalda la idea de que el modelo de regresión es adecuado para predecir una relación entre el área alar y el volumen torácico en los datos analizados (Montgomery y Runger, 2011).

Es posible, que las mariposas que viven en el sotobosque poseen una mayor área alar ya que utilizan el deslizamiento con sus alas, el cual tiene un menor costo energético que el vuelo con aleteo (Stylman, Penz, Devries, y Dyer, 2020). Además, es posible que las mariposas del sotobosque se beneficien de tener alas más grandes, ya que estas desempeñan un papel importante en la regulación de la temperatura, al permitir la circulación de la hemolinfa a través de sus venas y absorber calor del sol cuando están abiertas, lo que les ayudaría a aumentar su temperatura corporal (Buckley y Kingsolver, 2021). Este aspecto es especialmente relevante en el sotobosque, donde los niveles de luz son notablemente inferiores en comparación con áreas más abiertas y expuestas, como el dosel.

Con respecto a *Adelpha mesentina* se observa que presenta una relación WA:TV más baja que las mariposas con preferencia al sotobosque, esto se podría

deber a que su morfología es de mayor ayuda para un rendimiento en zonas con mayor disponibilidad de calor (Stylman et al., 2020).

Por otro lado, se conoce que las mariposas que residen en distintos microhábitats son afectadas por las disparidades en la cantidad de luz disponible y las variaciones de temperatura presentes en cada uno de ellos (Montejo-Kovacevich et al., 2020). Esto se debe a que las condiciones de un microhábitat determinan diferentes morfologías que de igual manera establecen los modos de vuelo (DeVries et al., 2010).

## 7. CONCLUSIONES

En conclusión, podemos decir que los resultados respaldan parcialmente lo que se buscaba comprobar con respecto a la proporción WA:TV. Esto debido a que no hubo suficiente información con respecto a mariposas con estratificación significativa para dosel.

A pesar de esto, al seleccionar las especies con mayor cantidad de individuos recapturados, se puede resaltar el hecho de no encontrar suficientes especies para dosel. Es decir que los individuos de las especies más recapturadas tienden a tener una estratificación significativa para sotobosque.

Por otro lado, podemos decir que las mariposas de sotobosque mostraron una preferencia de hábitat, la cual estaba asociada con un conjunto de características morfológicas relacionadas con el vuelo.

Sería importante que para futuras investigaciones se tome en consideración un mayor número de especies para el estudio a realizar, además de una mayor cantidad de especímenes, ya que esto brindaría la posibilidad de una investigación más completa y certera.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alerstam, T., Hedenstro, A., y Åkesson, S. (2003). Long-distance migration: evolution and determinants. *Oikos*, 103, 247–260.
- Altizer, S., y Davis, A. K. (2010). Populations of Monarch Butterflies With Different Migratory Behaviors Show Divergence in Wing Morphology. *Evolution*, 64(4), 1018–1028. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2010.00946.x>
- Baguette, M. (2003). Long distance dispersal and landscape occupancy in a metapopulation of the cranberry fritillary butterfly. *ECOGRAPHY*, 26, 153–160.
- Baguette, M., y Schtickzelle, N. (2006). Negative relationship between dispersal distance and demography in butterfly metapopulations. *Ecology*, 87(3), 648–654. <https://doi.org/10.1890/04-1631>
- Bardales, J., Gómez, R., Sandoval, A., Garcúa, P., Jiménez, J., Hernández, J. J., y Lamas, G. (2017). Aspectos biológicos de *Archaeoprepona demophon* muson (Fruhstorfer, 1905) (Lepidoptera: Nymphalidae, Charaxinae) en la Amazonía peruana. *Revista Peruana de Biología*, 24(3), 249–254. <https://doi.org/10.15381/rpb.v24i3.13906>
- Bardales, J., Zelada, Y., Jiménez, J., Ruiz, A., Freyre, H., y Hernandez, J. J. (2021). Feeding, oviposition behavior, life cycle, and natural enemies of *hamadryas feronia* (Nymphalidae) in the Peruvian amazon. *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 524–533. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i2.44969>
- Berwaerts, K., Van Dyck, H., y Aerts, P. (2002). Does flight morphology relate to flight performance? An experimental test with the butterfly *Pararge aegeria*. *Functional Ecology*, 16(4), 484–491. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00650.x>
- Betts, C., y Wootton, R. (1988). Wing Shape and Flight Behaviour in Butterflies (Lepidoptera: Papilionoidea and Hesperioidea): A Preliminary Analysis. *Journal of Experimental Biology*, 138(1), 271–288. <https://doi.org/10.1242/jeb.138.1.271>

- Buckley, L. B., y Kingsolver, J. G. (2021). Evolution of Thermal Sensitivity in Changing and Variable Climates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 52(1), 563–586. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-011521-102856>
- Cárdenas, R., Hernández-L, N., Barragán, Á., y Dangles, O. (2013). Differences in Morphometry and Activity among Tabanid Fly Assemblages in an Andean Tropical Montane Cloud Forest: Indication of Altitudinal Migration? *Biotropica*, 45, 63–72. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00885.x>
- Cespedes, A., Penz, C., y Devries, P. (2015). Cruising the rain forest floor: Butterfly wing shape evolution and gliding in ground effect. *Journal of Animal Ecology*, 84(3), 808–816. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12325>
- Chapman, J., Nesbit, R., Burgin, L., Reynolds, D., Smith, A., Middleton, D., y Hill, J. (2010). Flight orientation behaviors promote optimal migration trajectories in high-flying insects. *Science*, 327, 682–685. <https://doi.org/10.1126/science.1182990>
- Checa, M. F., Nogales, S., Salazar, P. A., Bustos, L., Ojeda, V., Bustos, A., y Willmott, K. R. (2022). Implementing a novel approach to long-term monitoring of butterfly communities in the Neotropics. *Insect Conservation and Diversity*, 15(4), 416–428.
- Condit, R. (1998). Ecological implications of changes in drought patterns: shifts in forest composition in Panama. *Climatic Change*, 39, 413–427. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1005395806800>
- Delattre, T., Burel, F., Humeau, A., Stevens, V., Vernon, P., y Baguette, M. (2010). Dispersal mood revealed by shifts from routine to direct flights in the meadow brown butterfly *Maniola jurtina*. *Oikos*, 119(12), 1900–1908. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18615.x>
- Devries, P. J., Alexander, L. G., Chacon, I. A., y Fordyce, J. A. (2012). Similarity and difference among rainforest fruit-feeding butterfly communities in Central and South America. *Journal of Animal Ecology*, 81(2), 472–482. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01922.x>

- DeVries, P., Murray, D., y Lande, R. (1997). Species diversity in vertical, horizontal, and temporal dimensions of a fruit-feeding butterfly community in an Ecuadorian rainforest. *Biological Journal of the Linnean Society*, 62(3), 343–364. <https://doi.org/10.1006/bijl.1997.0155>
- DeVries, P., Penz, C., y Hill, R. (2010). Vertical distribution, flight behaviour and evolution of wing morphology in *Morpho* butterflies. *Journal of Animal Ecology*, 79(5), 1077–1085. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01710.x>
- Dudley, R., y Srygley, R. (1994). Flight Physiology of Neotropical Butterflies: Allometry of Airspeeds During Natural Free Flight. *Journal of Experimental Biology*, 191, 125–139. <https://doi.org/10.1242/jeb.191.1.125>
- Ellington, C. (1984). The aerodynamics of hovering insect flight. II. Morphological parameters. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Biological Sciences*, 305, 17–40. <https://doi.org/10.1098/rstb.1984.0050>
- Ellington, C. (1985). Power and efficiency of insect flight muscle. *Journal of Experimental Biology*, 115, 293–304.
- Feener, D., Lighton, J., y Bartholomew, G. (1988). Curvilinear Allometry, Energetics and Foraging Ecology: A Comparison of Leaf-Cutting Ants and Army Ants. *Functional Ecology*, 2, 509–520. <https://doi.org/10.2307/2389394>
- Freund, J. E., Miller, I., y Miller, M. (2000). *Estadística Matemáticas con Aplicaciones*. (Vol. 6; G. Trujano, Ed.).
- Haag, C., Saastamoinen, M., Marden, J., y Hanski, I. (2005). A candidate locus for variation in dispersal rate in a butterfly metapopulation. *Proceedings of the Royal Society, Biological Sciences*, 272, 2449–2456. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3235>
- Hall, J., y Willmott, K. (2000). Patterns of feeding behaviour in adult male riodinid butterflies and their relationship to morphology and ecology. *Biological Journal of the Linnean Society*, 69, 1–23. <https://doi.org/10.1006/bijl.1999.0345>

- Heinrich, B. (1974). Thermoregulation in Endothermic Insects. *Science*, 185(4153), 747–756. <https://doi.org/10.1126/science.185.4153.747>
- Hill, J. K., Thomas, C. D., y Blakeley, D. S. (1999). Evolution of flight morphology in a butterfly that has recently expanded its geographic range. *Oecologia*, 121, 165–170. <https://doi.org/10.1007/s004420050918>
- Hughes, J. B., Daily, G. C., y Ehrlich, P. R. (1998). Use of fruit bait traps for monitoring of butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae). *Revista de Biología Tropical*, 46(3), 697–704. <https://doi.org/10.15517/rbt.v46i3.20199>
- Huxley, J. S. (1924). Constant differential growth-ratios and their significance [3]. *Nature*, 115(2877), 895–896. <https://doi.org/10.1038/115155a0>
- Krishna, S., Cho, M., Wehmann, H. N., Engels, T., y Lehmann, F. O. (2020, August 1). Wing design in flies: Properties and aerodynamic function. *Insects*, Vol. 11, pp. 1–18. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/insects11080466>
- Le Roy, C., Amadori, D., Charberet, S., Windt, J., Muijres, F. T., Llaurens, V., y Debat, V. (2021). *Gliding in the Amazonian canopy: adaptive evolution of flight in Morpho butterflies*. <https://doi.org/10.1101/2021.03.22.436469>
- Le Roy, C., Debat, V., y Llaurens, V. (2019). Adaptive evolution of butterfly wing shape: from morphology to behaviour. *Biological Reviews*, 94(4), 1261–1281. <https://doi.org/10.1111/brv.12500>
- Marden, J. (2000). Variability in the Size, Composition, and Function of Insect Flight Muscles. *Annual Review of Physiology*, 62(1), 157–178. Retrieved from [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)
- Marden, J. H. (1989). Bodybuilding dragonflies: costs and benefits of maximizing flight muscle. *Physiological Zoology*, 62(2), 505–521. <https://doi.org/10.1086/physzool.62.2.30156182>
- Mena, S., Kozak, K. M., Cárdenas, R. E., y Checa, M. F. (2020). Forest stratification shapes allometry and flight morphology of tropical butterflies. *Proceedings of the*

*Royal Society, Biological Sciences, Biological Sciences*, 287(20201071), 1–10.  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1071rspb20201071>

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental. *Subsecretaría de Patrimonio Natural, Quito*. Retrieved from [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)

Montejo-Kovacevich, G., Martin, S. H., Meier, J. I., Bacquet, C. N., Monllor, M., Jiggins, C. D., y Nadeau, N. J. (2020). Microclimate buffering and thermal tolerance across elevations in a tropical butterfly. *Journal of Experimental Biology*, 223(8). <https://doi.org/10.1242/jeb.220426>

Montgomery, D. C., y Runger, G. C. (2011). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (5th ed.; T. McFadden, Ed.).

Nowicki, P., Richter, A., Glinka, U., Holzschuh, A., Toelke, U., Henle, K., Settele, J. (2005). Less input same output: Simplified approach for population size assessment in Lepidoptera. *Population Ecology*, 47(3), 203–212. <https://doi.org/10.1007/s10144-005-0223-2>

Polcyn, D. (1988). *The thermal biology of desert dragonflies*. University of California, Riverside.

Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (n.d.). Estación Científica Yasuní. Retrieved from <https://yasuni.puce.edu.ec/>

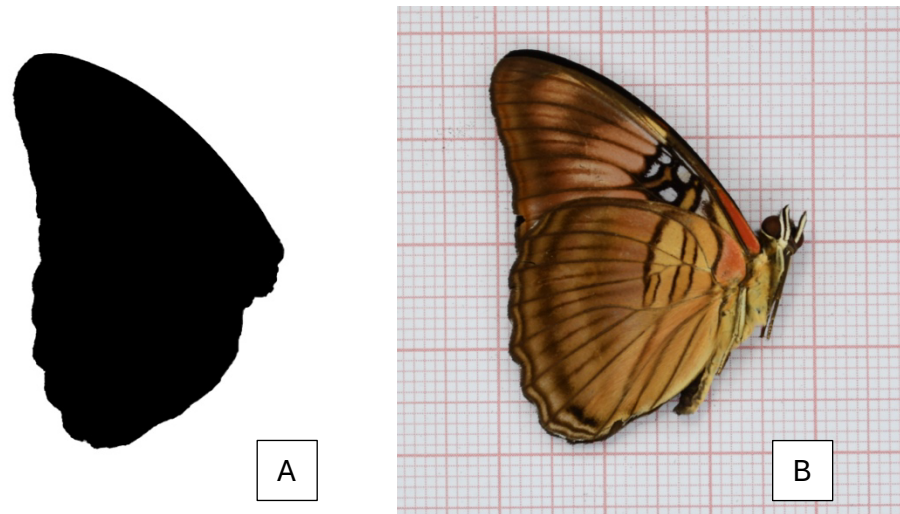
R Core Team. (2023). *R: A programming environment for statistics and graphics*. R Foundation for Statistical Computing.

Rauhamäki, V., Wolfram, J., Jokitalo, E., Hanski, I., y Dahlhoff, E. P. (2014). Differences in the aerobic capacity of flight muscles between butterfly populations and species with dissimilar flight abilities. *PLoS ONE*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0078069>

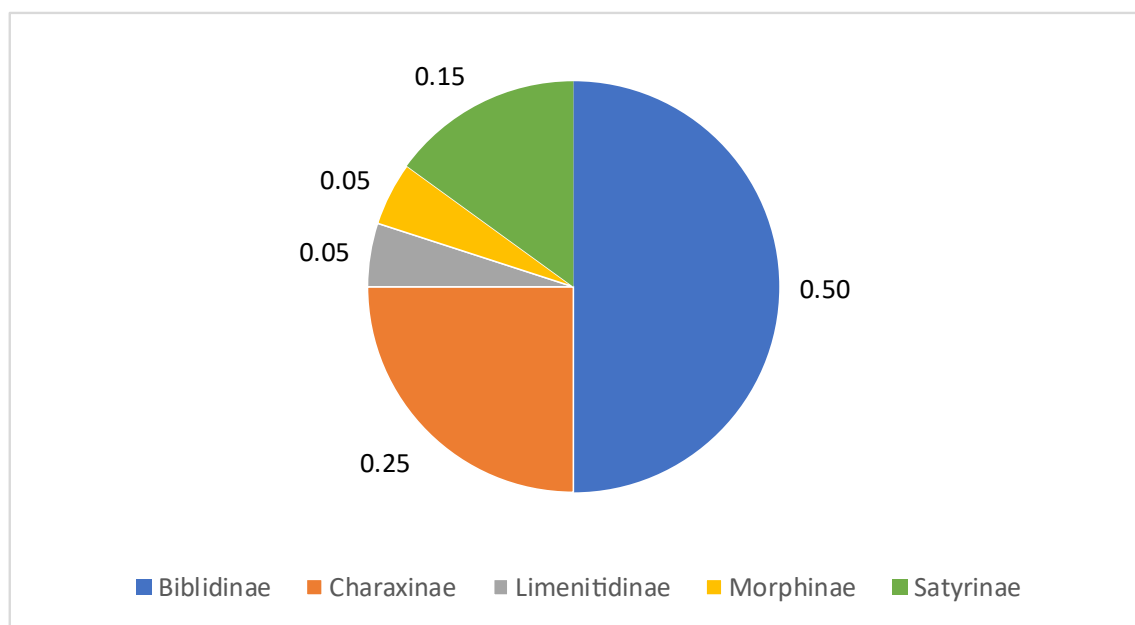
- Saastamoinen, M. (2007). Mobility and lifetime fecundity in new versus old populations of the Glanville fritillary butterfly. *Oecologia*, 153, 569–578. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0772-5>
- Schmidt-Nielsen, K. (1975). Scaling in biology: The consequences of size. *Journal of Experimental Zoology*, 194, 287–308. <https://doi.org/10.1002/jez.1401940120>
- Srygley, R. B., y Chai, P. (1990). Flight morphology of Neotropical butterflies: palatability and distribution of mass to the thorax and abdomen. *Oecologia*, 84, 491–499. <https://doi.org/10.1007/BF00328165>
- Stern, D., y Emlen, D. (1999). The developmental basis for allometry in insects. *Development*, 126(6), 1091–1101.
- Stillwell, R. C., Shingleton, A. W., Dworkin, I., y Frankino, W. A. (2016). Tipping the scales: Evolution of the allometric slope independent of average trait size. *Evolution*, 70(2), 433–444. <https://doi.org/10.1111/evo.12865>
- Stylman, M., Penz, C. M., Devries, P., y Dyer, L. (2020). Large Hind Wings Enhance Gliding Performance in Ground Effect in a Neotropical Butterfly (Lepidoptera: Nymphalidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 113(1), 15–22. <https://doi.org/10.1093/aesa/saz042>
- Sudo, S., Tsuyuki, K., y Tani, J. (2000). Wing morphology of some insects. *JSME International Journal*, 43(4), 895–900. Retrieved from [https://www.jstage.jst.go.jp/article/bpb1993/17/11/17\\_11\\_1460/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/bpb1993/17/11/17_11_1460/_pdf/-char/ja)
- Van Dyck, H., y Wiklund, C. (2002). Seasonal butterfly design: Morphological plasticity among three developmental pathways relative to sex, flight and thermoregulation. *Journal of Evolutionary Biology*, 15, 216–225. <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.2002.00384.x>
- Vlasanek, P., Sam, L., y Novotny, V. (2013). Dispersal of butterflies in a New Guinea rainforest: Using mark-recapture methods in a large, homogeneous habitat. *Ecological Entomology*, 38(6), 560–569. <https://doi.org/10.1111/een.12051>

- Vogt, J. T., Appel, A. G., y West, M. S. (2000). Flight energetics and dispersal capability of the fire ant, *Solenopsis invicta* Buren. *Journal of Insect Physiology*, 46, 697–707. [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(99\)00158-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(99)00158-4)
- Wassehthal, L. T. (1975). The role of butterfly wings in regulation of body temperature. *Journal of Insect Physiology*, 21(12), 1921–1930.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*.
- Witte, R. S., y Witte, J. S. (2017). *Statistics* (11th ed.; G. Hoffman, Ed.). Wiley.
- Wootton, R. J. (2002). Design, function and evolution in the wings of holometabolous insects. *Zoologica Scripta*, 31(1), 31–40. <https://doi.org/10.1046/j.0300-3256.2001.00076.x>
- Zera, A. J., y Denno, R. F. (1997). Physiology and ecology of dispersal polymorphism in insects. *Annual Review of Entomology*, 42, 207–230.

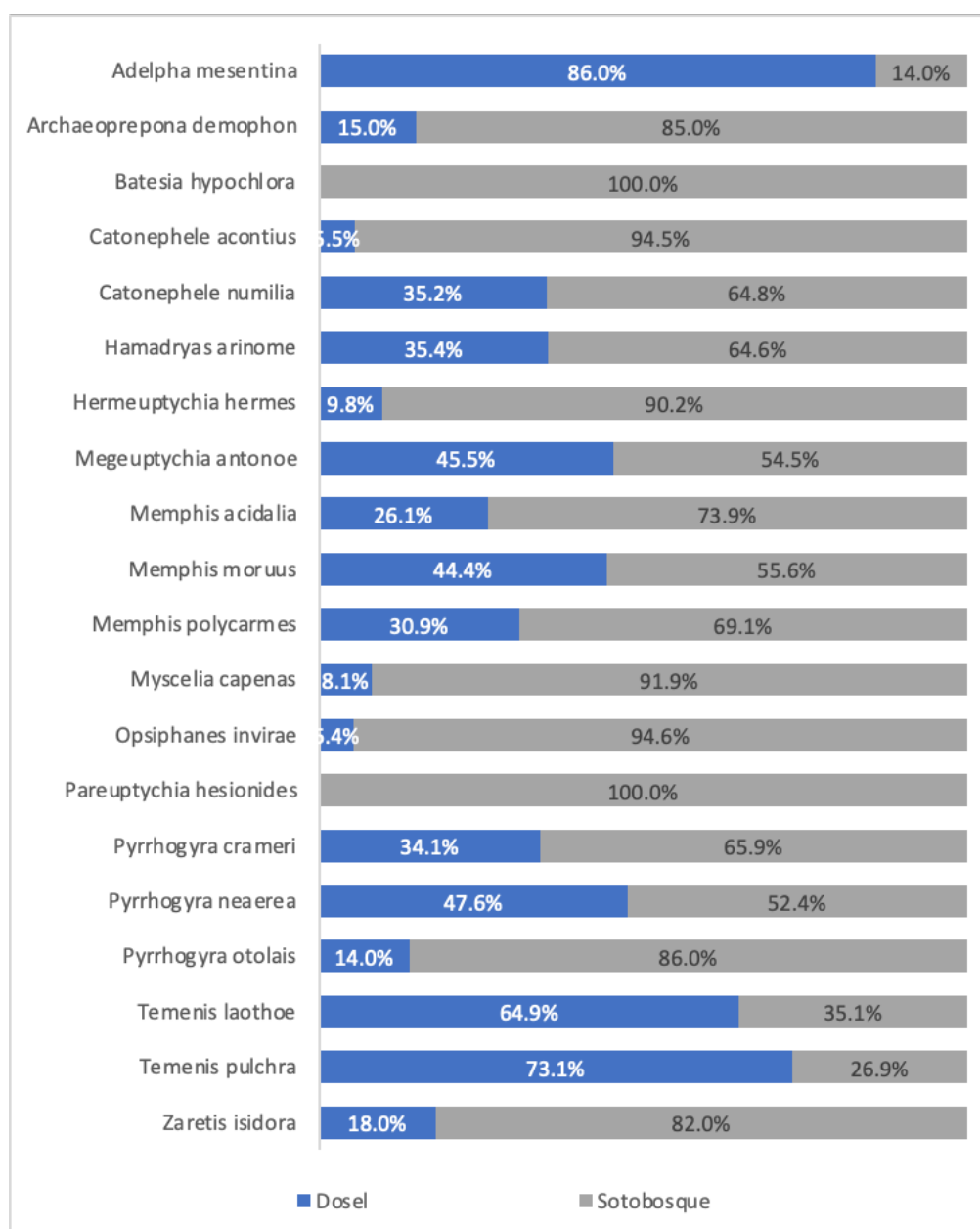
## 9. FIGURAS



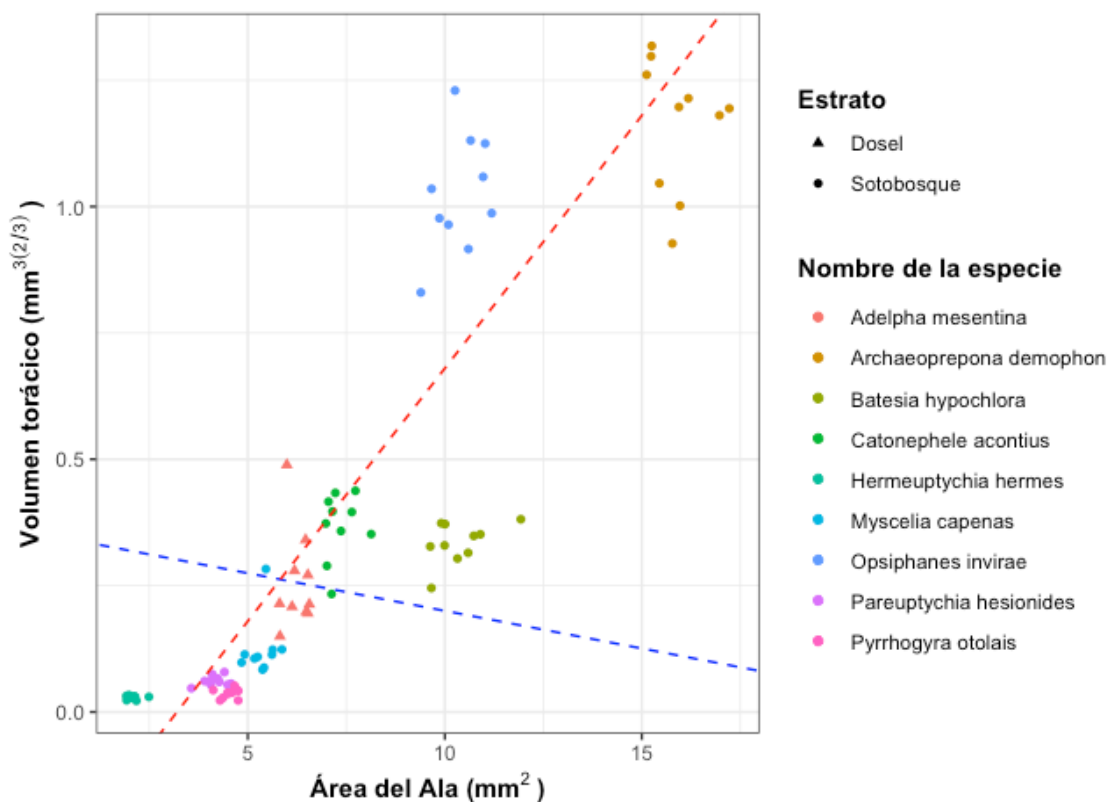
**Figura 1. Fotografía de la selección alar. A.** Edición en Photoshop para la medición WA en ImageJ. **B.** Fotografía sin edición. Especie de las imágenes *Adelpha mesentina*



**Figura 2. Porcentajes de las subfamilias de las 20 especies estudiadas.** El azul corresponde a las especies de la subfamilia Biblidinae, en naranja a la subfamilia Charaxinae, en gris a la subfamilia Limentidinae, en amarillo a la subfamilia Morphinae y en verde a la subfamilia Satyrinae.



**Figura 3. Porcentajes de la distribución vertical de las 20 especies presentes en el estudio.** En azul, el porcentaje de individuos encontrados en el dosel, en gris, el porcentaje de individuos encontrados en el sotobosque



**Figura 4. Relación entre área del ala y el volumen torácico (WA:TV), por estrato de bosque.** Las especies de dosel son representadas por un triángulo mientras que las especies de sotobosque por un punto. Cada especie es de un color diferente. La línea roja es la regresión lineal para las especies de sotobosque mientras que la azul es para especies de dosel.

## 10. TABLAS

**Tabla 1. Listado de las variables morfológicas, por cada especie utilizadas para realizar el estudio.** Se muestra el promedio del área alar (WA), del volumen torácico (TV) y la relación entre el área del ala y el volumen torácico (WA:TV). Para el volumen torácico (TV), se utilizaron valores elevados a  $-2/3$ .

Espece	WA (cm <sup>2</sup> )	TV (cm <sup>3</sup> )	WA:TV (cm)
<i>Adelpha mesentina</i>	6,25	2,63	16,40
<i>Archaeoprepona demophon</i>	15,91	0,91	14,48
<i>Batesia hypochlora</i>	10,82	1,96	20,64
<i>Catonephele acontius</i>	7,34	1,98	14,53
<i>Catonephele numilia</i>	10,28	2,46	25,39
<i>Hamadryas arinome</i>	12,78	2,39	30,53
<i>Hermeuptychia hermes</i>	2,09	0,08	0,18
<i>Megeuptychia antonoe</i>	7,00	3,68	25,77
<i>Memphis acidalia</i>	8,60	2,94	24,67
<i>Memphis moruus</i>	7,67	1,68	12,86
<i>Memphis polycarnes</i>	7,41	1,92	14,09
<i>Myscelia capenas</i>	5,35	4,27	22,82
<i>Opsiphanes invirae</i>	10,37	0,99	10,25
<i>Pareuptychia hesionides</i>	4,17	6,48	26,97
<i>Pyrrhogyra crameri</i>	4,54	4,84	22,03
<i>Pyrrhogyra neaerea</i>	5,76	3,34	19,11
<i>Pyrrhogyra otolais</i>	4,52	9,37	42,34
<i>Temenis pulchra</i>	5,48	3,42	18,76
<i>Temenis laothoe</i>	4,21	3,31	13,99

**Tabla 2. Distribución vertical de las 20 especies más abundantes en la Estación científica Yasuní, capturadas entre los años 2014 y 2019. Se muestra el número de recapturas de cada una en cada estrato y su índice de estratificación (SI).**

Especies	Número de capturas			SI
	Dosel	Sotobosque	Total	
<i>Adelpha mesentina</i>	49	8	57	0.72
<i>Archaeoprepona demophon</i>	6	34	40	-0.70
<i>Batesia hypochlora</i>	0	57	57	-1.00
<i>Catonephele acontius</i>	5	86	91	-0.89
<i>Catonephele numilia</i>	70	129	199	-0.30
<i>Hamadryas arinome</i>	34	62	96	-0.29
<i>Hermeuptychia hermes</i>	4	37	41	-0.80
<i>Megeuptychia antonoe</i>	10	12	22	-0.09
<i>Memphis acidalia</i>	31	88	119	-0.48
<i>Memphis moruus</i>	16	20	36	-0.11
<i>Memphis polycarmes</i>	73	163	236	-0.38
<i>Myscelia capenas</i>	14	158	172	-0.84
<i>Opsiphanes invirae</i>	4	70	74	-0.89
<i>Pareuptychia hesionides</i>	0	24	24	-1.00
<i>Pyrrhogyra crameri</i>	14	27	41	-0.32
<i>Pyrrhogyra neaerea</i>	10	11	21	-0.05
<i>Pyrrhogyra otolais</i>	19	117	136	-0.72
<i>Temenis pulchra</i>	266	144	410	0.30
<i>Temenis laothoe</i>	19	7	26	0.46
<i>Zaretis isidora</i>	20	91	111	-0.64

**Tabla 3. Coeficientes estadísticos para cada estrato.** Coeficiente de correlación de Pearson, coeficiente de regresión lineal y p-value de la regresión lineal para dosel y sotobosque.

	<b>Dosel</b>	<b>Sotobosque</b>
<b>Coeficiente de correlación de Pearson</b>	-0.046	0.89
<b>Coeficiente de regresión lineal</b>	-0.015	0.09
<b>p-value</b>	0.9	0