



**Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación**  
**Facultad de Ciencias Básicas**  
**Departamento de Biología**

ESTUDIO SOBRE LA RESPUESTA CONDUCTUAL ASOCIADA AL CAMUFLAJE DE  
*HETERONEMIA GRANULICOLLIS* (INSECTA: PHASMIDA) FRENTE AL ESTÍMULO  
DE VELOCIDAD DEL VIENTO.

MEMORIA DE TÍTULO PARA OPTAR AL GRADO Y/O TÍTULO DE LICENCIADA/O  
EN EDUCACIÓN EN BIOLOGÍA Y PEDAGOGÍA EN BIOLOGÍA CON MENCIÓN EN  
CIENCIAS NATURALES.

AUTORES:

TIARE CARRASCO INOSTROZA & EDUARDO VALDÉS BLANCHEMIN  
PROFESOR GUÍA: ALEJANDRO VERA SÁNCHEZ

SANTIAGO DE CHILE, ENERO DE 2025



**Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación**  
**Facultad de Ciencias Básicas**  
**Departamento de Biología**

ESTUDIO SOBRE LA RESPUESTA CONDUCTUAL ASOCIADA AL CAMUFLAJE DE  
*HETERONEMIA GRANULICOLLIS* (INSECTA: PHASMIDA) FRENTE AL ESTÍMULO  
DE VELOCIDAD DEL VIENTO.

MEMORIA DE TÍTULO PARA OPTAR AL GRADO Y/O TÍTULO DE LICENCIADA/O  
EN EDUCACIÓN EN BIOLOGÍA Y PEDAGOGÍA EN BIOLOGÍA CON MENCIÓN EN  
CIENCIAS NATURALES.

AUTORES:

TIARE CARRASCO INOSTROZA & EDUARDO VALDÉS BLANCHEMIN

PROFESOR GUÍA: ALEJANDRO VERA SÁNCHEZ

**Aprobada:**

**Profesor/a guía** : \_\_\_\_\_ **Fecha** : \_\_\_\_\_

**Profesor/a corrector** : \_\_\_\_\_ **Fecha** : \_\_\_\_\_

**Profesor/a corrector** : \_\_\_\_\_ **Fecha** : \_\_\_\_\_

**Aprobada:**

**Director/a del**

**Departamento de Biología** : \_\_\_\_\_ **Fecha** : \_\_\_\_\_

## **AUTORIZACIÓN**

**2025, Tiare Carrasco Inostroza & Eduardo Valdés Blanchemin.**

Se autoriza la reproducción total o parcial de este material, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, siempre que se haga la referencia bibliográfica que acredite el presente trabajo y sus autores.

## **Tiare Carrasco Inostroza.**

Dedico esta memoria a cada persona que me ayudó en este camino. Primeramente, quiero agradecer a mi madre, Luz Carrasco, que me cuidó y apoyó en cada paso, que sin ella no estaría donde estoy y que espero que todo su esfuerzo se vea reflejado en la profesional que soy hoy, mi mayor inspiración y mi compañera. También quiero dedicárselo a mis gatas, Micky y Mota, que sin entenderlo me acompañaron en cada desvelada con sus ronroneos. Gracias, tía Maggi, que ha sido mi soporte en los momentos donde el final se veía lejano. Gracias Camila, mi gran mentora y confidente en esta extraña y bonita vida. Gracias Jossier, que me has dado calma y me has acompañado en esas noches eternas de trabajo con tu bonita presencia y cariño. Gracias Eduardo, mi compañero de tesis, porque no podría haber logrado esto sin ti. Abuela Peta, abuelo Talo, les mando mil gracias hacia el cielo.

Gracias a mis tías, Viviana Laura, Inés, Lila, Paulina, a mis tíos Luis, Armando, Humberto, Alfredo y a mis primos, Gabriel, Evelyn, Michael, Julián, Sophia, Nicolás. A cada una de las personas que mencioné en esta dedicatoria, una parte de esta memoria les pertenece. Gracias.

## **Eduardo Valdés Blanchemin.**

Quiero hacer esta dedicatoria a mis familiares y amigos que me apoyaron de manera directa en este proceso, principalmente a mis padres Angela Blanchemin Pereira y Luis Valdés Saez, además de mi hermana menor Catalina Valdés Blanchemin, quienes estuvieron atentos a mi proceso de tesis y me apoyaron en todo ese largo y arduo proceso.

También dedicar este trabajo a mi compañera de tesis Tiare Carrasco Inostroza, quien se estuvo siempre aportando al trabajo y gracias a ella el trabajar en este proceso.

Pero principalmente a mis abuelos, de parte materna Elizabet Pereira del Carmen y Fernando Blanchemin y por parte paterna a Luis Valdés Bravo y a Laura Saez, que en donde quiera que esté en estos momentos espero que esté orgullosa del profesional en que me he convertido.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro profesor guía Alejandro Vera por brindarnos la oportunidad y el espacio de realizar este proceso con él y apoyarnos en todo el trabajo realizado, no solo en esta memoria de título, sino que en toda nuestra formación profesional. Gracias a todos los académicos del departamento de Biología de la UMCE por su apoyo y comprensión, especialmente a los docentes María Catalina Sabando, Reinaldo Vargas y Ximena Vildósola. Agradecemos también a nuestros padres por el soporte emocional y el apoyo para realizar nuestro proceso de memoria de la manera más amena.

Además, a todas aquellas personas que nos brindaron una palabra de aliento y su cariño, Fernanda, José, Marcelo, Álvaro, Dahlia, Lili, Don Juanito, Allison, Alan; gracias por su presencia en este camino.

## TABLA DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN .....	II
TABLA DE CONTENIDO .....	V
RESUMEN: .....	IX
INTRODUCCIÓN .....	1
Marco teórico.....	1
Orden Phasmida .....	6
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	10
HIPÓTESIS .....	10
OBJETIVOS .....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Diseño experimental.....	11
Materiales.....	11
Protocolo de registro de datos .....	18
Metodología de extracción y análisis de datos cuantitativos.....	20
Codificación del software de análisis.....	24
RESULTADOS .....	27
Replicación experimental 1: .....	27
Análisis global de las replicaciones experimentales .....	32
Análisis con pruebas estadísticas.....	33
Resultados prueba Shapiro- Wilk.....	34
Prueba estadística Wilcoxon.....	35
Resultado prueba Wilcoxon.....	35
DISCUSIÓN .....	37
Interpretación de los resultados.....	37
Implicaciones de los hallazgos .....	37
CONCLUSIONES .....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
ANEXOS .....	45

## LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Métodos de camuflaje. ....	3
Tabla 2. Diversidad de Phasmida de Chile.....	7

## LISTA DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 1. ....	31
Gráfico 2. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias para las fases de todos los modelos promediados. ....	32
Gráfico 3. Correlación lineal entre velocidad del viento (m/s) y frecuencia de mediciones (hz). ....	36
Gráfico 4. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias para la replicación experimental 2. ....	61
Gráfico 5. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 3. ....	63
Gráfico 6. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 4. ....	65
Gráfico 7. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 5. ....	67
Gráfico 8. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 6. ....	69
Gráfico 9. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 7. ....	71
Gráfico 10. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 8. ....	74

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fotografía <i>Heteronemia granulicollis</i> .....	12
Figura 2. Fotografía sistema armado.....	12
Figura 3. Tapa para los filtros. ....	13
Figura 4. Filtro número 1 del sistema. ....	14
Figura 5. Filtro número 2 del sistema. ....	14
Figura 6. Filtro número 3 del sistema. ....	15
Figura 7. Fotografía lateral sistema (Rotulado).....	15
Figura 8. Esquema Caja de trabajo para la experimentación en 3D.....	16
Figura 9. Esquema base de soporte para observar comportamiento de <i>Heteronemia granulicollis</i> .....	16
Figura 10. Anemómetro utilizado para el experimento.....	17
Figura 11. Fotografía sistema empleado para aplicar estímulo de viento. ....	17
Figura 12. Fotografía de <i>Heteronemia granulicollis</i> en la postura para registros del experimento. ....	18
Figura 13. Esquemización de fases (en segundos) .....	20
Figura 14. Puntos tarso-varilla y distancia entre ellos.....	21
Figura 15. Replicación experimental 1 de toma de datos.....	27
Figura 16. Replicación experimental 1 .....	28
Figura 17. Replicación experimental 1 y sus fases. ....	29
Figura 18. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 1.....	31
Figura 19. Comparación promedio/velocidad para las fases de todos los modelos. ....	32
Figura 20. Fórmula prueba Shapiro-Wilk .....	34
Figura 21. Replicación experimental 2 de toma de datos.....	59
Figura 22. Replicación experimental 2 y sus fases. ....	60
Figura 23. Comparación promedio/velocidad del modelo 2. ....	61
Figura 24. Comparación promedio/velocidad del modelo 3. ....	61
Figura 25. Replicación experimental 3 y sus fases. ....	62
Figura 26. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 3.....	63
Figura 27. Replicación experimental 4 de toma de datos.....	63
Figura 28. Replicación experimental 4 y sus fases. ....	64
Figura 29. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 4.....	65
Figura 30. Replicación experimental 5 de toma de datos.....	65
Figura 31. Replicación experimental 5 y sus fases. ....	66
Figura 32. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 5.....	67

Figura 33. Replicación experimental 6 de toma de datos.....	67
Figura 34. Replicación experimental 6 y sus fases. ....	68
Figura 35. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 6.....	69
Figura 36. Replicación experimental 7 de toma de datos.....	69
Figura 37. Replicación experimental 7 y sus fases. ....	70
Figura 38.Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 7.....	71
Figura 39.Replicación experimental 8 de toma de datos.....	72
Figura 40. Replicación experimental 8 y sus fases. ....	73
Figura 41. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 8.....	74

## RESUMEN:

Este estudio examina el comportamiento de camuflaje de *Heteronemia granulicollis* en respuesta a variaciones en la velocidad del viento. La hipótesis inicial, que planteaba una relación proporcional entre el balanceo del insecto y la velocidad del viento, fue confirmada, ya que se encontró una relación significativa entre ambas variables. El experimento se llevó a cabo en un túnel de viento, donde se registraron las respuestas de hembras adultas de la especie en un gradiente de velocidad del viento. Para el seguimiento preciso del movimiento, se utilizó el software DeepLabCut, el cual permitió rastrear la posición del cuerpo del insecto con relación al soporte. Los resultados obtenidos sugieren que el comportamiento de camuflaje del insecto está directamente relacionado con las variaciones en la velocidad del viento de su entorno.

### Abstract:

This study examines the camouflage behavior of *Heteronemia granulicollis* in response to variations in wind speed. The initial hypothesis, which proposed a proportional relationship between the insect's swaying and wind speed, was confirmed, as a significant correlation between both variables was found. The experiment was conducted in a wind tunnel, where the responses of adult females of the species were recorded across a gradient of wind speeds. For precise motion tracking, the software DeepLabCut was used, allowing the insect's body position to be tracked in relation to its perch. The results suggest that the insect's camouflage behavior is directly linked to variations in its surrounding wind speed.

---

Palabras clave: phasmida, camuflaje, *Heteronemia granulicollis*, Comportamiento.

Keywords: phasmida, Camouflage, *Heteronemia granulicollis*, Behavior



## INTRODUCCIÓN

### Marco teórico

El camuflaje se define como la propiedad de un objeto que dificulta su detección y reconocimiento debido a su similitud con el entorno (Stevens & Merilaita, 2009). Según estos autores, esta estrategia no solo implica una apariencia similar al fondo, sino que también manipula y engaña los mecanismos perceptivos y cognitivos de otras especies para lograr el ocultamiento. Esta capacidad beneficia tanto a depredadores como a presas: los primeros la utilizan para facilitar una caza exitosa, mientras que los segundos la emplean para evadir a sus depredadores. De esta manera, el camuflaje desempeña un papel ecológico crucial en la dinámica de las especies y sus interacciones.

El camuflaje como concepto existe desde hace mucho tiempo. Erasmus Darwin en el año 1794 (como se citó en Stevens & Merilaita, 2011) ya señalaba que “los colores de muchos animales parecen adaptados a sus propósitos de ocultarse, ya sea para evitar el peligro o saltar sobre su presa”. Otros naturalistas del siglo XIX, como Beddard (1895) y Poulton (1890), se enfocaron principalmente en la forma en que algunos animales tenían coloraciones similares a los de su entorno y/o imitaban objetos comunes en su hábitat. Poulton (1890), en particular, destacó cómo los colores y patrones de los animales no solo les permitían ocultarse, sino también engañar a sus depredadores o presas, sentando las bases para entender el camuflaje como una estrategia evolutiva.

La evolución del camuflaje es un claro ejemplo de cómo las presiones selectivas, como la depredación, pueden moldear las adaptaciones de los organismos. Estudios recientes, como los de Goldberg et al. (2020), han demostrado que la convergencia evolutiva es común en los Phasmida, donde especies de diferentes linajes han desarrollado estrategias de camuflaje similares, como la imitación de ramas u hojas. Esto sugiere que el camuflaje es una solución adaptativa altamente efectiva que ha surgido múltiples veces en respuesta a desafíos ecológicos similares. En el caso de *Heteronemia granulicollis* (Blanchard, 1851), su capacidad para ajustar su comportamiento de balanceo en respuesta al viento es un ejemplo de cómo el camuflaje no solo depende de características morfológicas, sino también de ajustes conductuales que maximizan su eficacia en condiciones dinámicas (Bian et al., 2016).

El comportamiento de balanceo en los Phasmida, como en *Heteronemia granulicollis*, es un ejemplo fascinante de cómo los organismos ajustan su conducta para maximizar su eficacia de camuflaje en condiciones dinámicas. Este movimiento, que imita el balanceo de las ramas debido al viento, no solo reduce la probabilidad de detección por parte de los depredadores, sino que también demuestra la capacidad de estos insectos para responder a señales ambientales en tiempo real (Bian et al., 2016). Estudiar este comportamiento en *Heteronemia granulicollis* permite comprender mejor cómo las interacciones entre el organismo y su entorno influyen en la eficacia del camuflaje.

El viento es un factor ambiental clave que influye en el comportamiento de camuflaje de los Phasmida. En hábitats donde las ramas y hojas se mueven constantemente debido al viento, el balanceo de los Phasmida, o insectos palo, no solo les permite mimetizarse con su entorno, sino también evitar ser detectados por depredadores que dependen del movimiento para localizar a sus presas (Fleishman, 1988). Por lo tanto, entender cómo *Heteronemia granulicollis* ajusta su comportamiento en respuesta a diferentes velocidades de viento es crucial para comprender la plasticidad conductual y su papel en la supervivencia.

*Heteronemia granulicollis* es una especie particularmente interesante para estudiar el comportamiento de camuflaje debido a su alta capacidad de camuflaje con ramas y su distribución en Chile Central, donde las condiciones de viento son frecuentes. Además, su factibilidad para la crianza en laboratorio (Zapata & Torres, 1970) permite realizar experimentos controlados que ayuden a entender cómo las variables ambientales, como la velocidad del viento, influyen en su comportamiento de balanceo.

Tal como precedieron autores como Thayer (x), actualmente se conoce la existencia de diversificadas estrategias de camuflaje más allá de la modificación del color. (Tabla 1 construida a partir de los datos de Stevens & Merilaita, 2011).

Tabla 1. Métodos de camuflaje.

<b>Métodos de camuflaje y su descripción</b>	
<b>Método de camuflaje</b>	<b>Descripción del método</b>
<b>Cripsis por</b> Coincidencia de fondo	Se produce cuando la apariencia generalmente coincide con el color, la luminosidad y el patrón de uno (especialista) o varios (compromisos) tipos de fondo.
<b>Cripsis por</b> ocultación de la propia sombra	Se produce cuando la luz direccional, que conduciría a la creación de sombras, se anula mediante el contra-sombreado.
<b>Cripsis por</b> Sombreado obliterativo	Se produce cuando el contra sombreado conduce a la obliteración de la forma tridimensional.
<b>Cripsis por</b> Coloración disruptiva	Se produce cuando un conjunto de marcas, bordes y límites falsos, dificultan la detección o el reconocimiento del contorno y la forma verdaderos de un objeto, o parte de ellos.
<b>Cripsis por</b> Camuflaje de fusión parpadeante	Se produce cuando las marcas, como las rayas, se difuminan durante el movimiento para coincidir con el color/luminosidad del fondo general, lo que impide la detección del animal cuando está en movimiento.
<b>Cripsis por</b> Marcas de distracción	Se produce cuando hay existencia de marcas que dirigen la "atención" o mirada del receptor, evitando la identificación de rasgos que delatarían al animal (como el contorno).
<b>Cripsis por</b> Transparencia	Se produce cuando parte del cuerpo de un animal es transparente, lo que reduce la probabilidad de que sea detectado.
<b>Cripsis por</b> Coloración plateada ( <i>silvering</i> )	Se produce comúnmente en ambientes acuáticos y donde el cuerpo de un animal es altamente reflectante (como un espejo), lo que dificulta su detección cuando la incidencia de la luz no es direccional (como debido a la fuerte dispersión de partículas transportadas por el agua).
<b>Disfraz</b>	Se produce cuando se evita el reconocimiento al parecerse a un objeto poco interesante, como una hoja o un palo.
<b>Deslumbramiento por movimiento</b>	Se produce cuando existen marcas que dificultan las estimaciones de la velocidad y la trayectoria por parte del receptor.
<b>Camuflaje de movimiento</b>	Se produce cuando existe movimiento de una manera que disminuye la probabilidad de detección.

*Modificada de Stevens & Merilaita, 2011.*

Tal como se observa en la tabla anterior, uno de los mecanismos más diversificados del camuflaje es la **cripsis**, la cual incluye todos los rasgos de un animal que reducen la posibilidad de ser detectado por un observador. Sin embargo, el camuflaje no se limita únicamente a características morfológicas, como el color o la forma, sino que también puede involucrar ajustes conductuales que permiten a los organismos maximizar su eficacia en el ocultamiento. Autores como Fleishman (1988) han demostrado que factores ambientales, como la luz y la estructura del hábitat, influyen significativamente en el comportamiento animal, lo cual sugiere que los organismos son capaces de ajustar sus patrones de conducta en respuesta a las condiciones del entorno.

En el caso de los Phasmida, este ajuste conductual se manifiesta en comportamientos como el **balanceo**, el cual parece estar directamente relacionado con las condiciones dinámicas del entorno, como el movimiento de las ramas debido al viento (Bian et al., 2016). Bian et al. (2016) estudiaron específicamente este comportamiento y encontraron que los Phasmida no solo imitan el movimiento de las plantas circundantes, sino que también ajustan su balanceo en función de la intensidad del viento. Este comportamiento sugiere que los Phasmida son capaces de percibir y responder a señales ambientales, lo cual les permite mantener su eficacia de camuflaje incluso en condiciones dinámicas. Sin embargo, los autores también observaron que el movimiento de balanceo eventualmente se detiene, independientemente de la intensidad del viento, lo cual podría ser una estrategia para evitar llamar la atención con movimientos atípicos (Fleishman, 1988).

De esta manera, el camuflaje en Phasmida no solo se basa en su similitud morfológica con ramas u hojas, sino también en su capacidad para ajustar su comportamiento en respuesta a las condiciones ambientales, lo cual refuerza su eficacia en el ocultamiento. Como señala Cuthill (2019), el camuflaje no solo se trata de parecerse al fondo, sino de engañar activamente a los sistemas visuales y cognitivos de los observadores, lo cual ha llevado a la evolución de estrategias cada vez más sofisticadas.

### **Importancia ecológica del camuflaje.**

El camuflaje desempeña un papel crucial en la supervivencia de muchas especies, tanto depredadoras como presas. Estudios recientes, como el de Troscianko et al. (2020), han

demostrado que la eficacia del camuflaje está directamente relacionada con la tasa de supervivencia, especialmente en contextos donde la depredación es intensa. Esto resalta la importancia de entender cómo los organismos ajustan su apariencia y comportamiento para maximizar su ocultamiento. Además, como explican Ruxton et al. (2018), el camuflaje es una de las múltiples estrategias que los organismos han desarrollado para evitar la depredación, junto con el aposematismo y el mimetismo, las cuales han surgido en respuesta a las presiones selectivas impuestas por los depredadores.

### **Influencia del entorno en el camuflaje.**

La eficacia del camuflaje no solo depende de las características del organismo, sino también del entorno en el que se encuentra. Como demostraron Stevens et al. (2014), los organismos pueden presentar variaciones individuales en su camuflaje dependiendo del hábitat, lo cual sugiere que el camuflaje es una estrategia dinámica que se ajusta a las condiciones específicas del entorno. En el caso de los Phasmida, su capacidad para ajustar su comportamiento de balanceo en respuesta al viento es un claro ejemplo de cómo el ambiente influye en la eficacia del camuflaje (Bian et al., 2016).

### **Evolución del camuflaje.**

El camuflaje ha evolucionado como una respuesta adaptativa a las presiones selectivas impuestas por los depredadores. Como señala Endler (1984), la cripsis no solo depende de la similitud visual con el fondo, sino también de factores como la luminosidad, el patrón y la textura, los cuales pueden cuantificarse para evaluar la eficacia del camuflaje. Además, estudios como el de Merilaita et al. (2017) han demostrado que el camuflaje funciona a través de múltiples mecanismos que interactúan para dificultar la detección y el reconocimiento, lo cual ha llevado a la evolución de estrategias cada vez más sofisticadas.

## **Orden Phasmida**

Phasmida es un orden de artrópodos que pertenecen a la clase Insecta. Son insectos terrestres, nocturnos y fitófagos, especializados en el camuflaje. Muchas especies parecen brotes de plantas o pueden parecer estar cubiertos de líquenes, hongos, ser palos u hojas. En general, presentan un cuerpo alargado y cilíndrico o aplanado como hojas; de cabeza prognata, con un par de ojos compuestos y ocelos en las especies voladoras; antenas filiformes o moniliformes; aparato bucal masticador, con mandíbulas fuertes, palpos maxilares y labiales de cinco y tres segmentos respectivamente; tórax con protórax corto, meso y metatórax alargados; son alados, braquípteros o ápteros. Abdomen con 11 segmentos. El segmento 11 con pequeño epiprocto, un par de paraproctos y un par de cercos monómeros. Generalmente presentan dimorfismo sexual, siendo los machos mucho más pequeños y gráciles que las hembras (Domínguez & Vera, 2014).

### **Diversidad taxonómica de los Phasmida presentes en Chile.**

En Chile, la diversidad del orden Phasmida, aunque limitada, presenta características notables respecto de otros Phasmida Neotropicales y está en proceso de estudio. Para el territorio nacional se han documentado 20 especies del orden Phasmatodea (MMA, 2018), distribuidas en 5 familias diferentes: Agamathemeridae, Diapheromeridae, Prisopodidae, Pseudophasmatidae y, la que es objeto de nuestro estudio, Heteronemiidae. Esta diversidad, aunque menor en comparación con otras regiones neotropicales, resalta la importancia de estudiar las adaptaciones de estos insectos en un contexto local, especialmente en lo que respecta a su capacidad de camuflaje y su interacción con el entorno.

La siguiente tabla muestra la diversidad de Phasmida en Chile, extraída de Biodiversidad, Tomo 1, Ministerio del Medio Ambiente, Página 290:

Tabla 2. Diversidad de Phasmida de Chile.

<b>Agathemeridae</b>	<b>Heteronemilidae</b>
<i>Agathemera claraziana</i> Saussure 1868	<i>Heteronemia granulicollis</i> Blanchard 1851
<i>A crassa</i> Blanchard 1851	<i>Heteronemia mexicana</i> Gray 1835
<i>A elegans</i> Phillipi 1863	<i>Minteronemia filiformia</i> Zompro 2004
<i>A grylloidea</i> Westwood 1859	<i>Minteronemia longitarsa</i> Zompro 2004
<i>A maculafulgens</i> Camousseight 1995	<i>Spinonemia chilensis</i> Westwood 1859
<i>A mesoauriculae</i> Camousseight 1995	<i>Splendidonemia splendida</i> Zompro 2004
<b>Diapheromerilidae</b>	<i>Xeropsis crassicornis</i> Phillipi 1865
<i>Bacteria annulicornis</i> Phillipi 1863	<i>Paraxeropsis bicristata</i> Camousseight 2008
<i>Clonistria chilensis</i> Redtenbacher 1908	<i>Paraxeropsis camousseighti</i> Vera 2011
<i>Dyme rarospinosa</i> Brunner v W 1907	<b>Pseudophasmaticiae</b>
<b>Prisopodidae</b>	<i>Peruphasma anakenum</i> Conle y Hennemann 2002
<i>Prisopus apteros</i> Camousseight, 2010	

Extraída de “Biodiversidad, Tomo 1, Ministerio del medio ambiente, Página 290”.

### **Camuflaje en Phasmida.**

Así como diversos organismos del reino animal y vegetal, los Phasmida, especialmente los palotes, también tienen métodos importantes de camuflaje con la finalidad de aumentar su tasa de supervivencia. Su principal defensa es la imitación de ramitas, corteza, hojas y otras partes de las plantas (Robertson et al., 2018), lo cual concuerda con los mecanismos de cripsis, reduciendo la posibilidad de ser vistos aun estando a simple vista. Autores como Zapata & Torres (1970) señalan que debido a su homocromía y su homomorfia, los palotes son una especie especialmente difícil de capturar y con alta capacidad de camuflaje, especialmente si esto se ve potenciado por la ausencia de movimiento (Poulton, 1890).

Sin embargo, ¿qué sucede cuando el entorno en el que se busca mimetizarse se mueve? Esto cobra vital importancia cuando vemos que los insectos palo buscan las ramas para asentarse,

entendiendo que estas pueden verse medidas por influencias como el viento. Robinson (1966, 1969) demostró que los insectos palo generan un comportamiento de balanceo similar al del viento o ligera perturbación. Bajo esta pregunta es que Biana et al. (2016) estudiaron este comportamiento y llegaron a la conclusión de que efectivamente este movimiento es un camuflaje al buscar asemejarse a la apariencia de las plantas del entorno circundante, sugiriendo que los insectos palo prestan atención a las señales ambientales y ajustan su comportamiento en consecuencia. A su vez, notaron que el movimiento, luego de un tiempo, se detenía eventualmente sin importar cuán fuerte fuese el viento, acercándose a la idea de que esto es una característica importante desde el punto de vista de la perspectiva del movimiento, ya que un movimiento atípico es muy notorio (Fleishman, 1988) y detener el movimiento sería una mejor estrategia (Biana, Elgara & Peterbs, 2016).

Por lo tanto, otra pregunta que surge a partir de esto es, ¿Cuál es el rango de velocidad del viento que condiciona el inicio y término de este movimiento de balanceo en el palote? Para poder trabajar esta interrogante, es necesario establecer un modelo experimental donde es necesario exponer al palote a diversas magnitudes de velocidad del viento para cuantificar dónde comienza y termina esta conducta. Particularmente, se utilizará el modelo biológico de *Heteronemia granulicollis* (Blanchard, 1851), una especie de insecto palo habitante de Chile Central. Esta especie se encuentra adecuadamente descrita (Anexo 1) y presenta factibilidad para establecer crianzas de laboratorio (Zapata & Torres, 1970).

Además, estudios como los de Kang et al. (2015) han demostrado que el camuflaje no solo depende de la apariencia estática, sino también de la capacidad del organismo para ajustar su comportamiento en respuesta a cambios dinámicos en el entorno. Esto es particularmente relevante en el caso de los Phasmida, cuyo comportamiento de balanceo parece estar directamente influenciado por factores ambientales como el viento (Bian et al., 2016). Por otro lado, Caro (2005) destaca que el camuflaje es una de las múltiples estrategias que los organismos han desarrollado para evitar la depredación, junto con el aposematismo y el mimetismo, lo cual resalta la importancia de entender cómo estas estrategias interactúan en la naturaleza.

Finalmente, Merilaita et al. (2017) explican que el camuflaje funciona a través de múltiples mecanismos que interactúan para dificultar la detección y el reconocimiento, lo cual ha

llevado a la evolución de estrategias cada vez más sofisticadas. En el caso de los Phasmida, su capacidad para ajustar su comportamiento de balanceo en respuesta al viento es un claro ejemplo de cómo el ambiente influye en la eficacia del camuflaje (Bian et al., 2016).

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A partir de lo anterior es posible plantear la siguiente pregunta de investigación:

**Pregunta de investigación:** ¿De qué forma se despliega el comportamiento de balanceo de *Heteronemia granulicollis* respecto al estímulo del viento?

## HIPÓTESIS

**Hipótesis:** El incremento del balanceo se despliega directamente proporcional a la velocidad del viento que impacta al insecto *Heteronemia granulicollis*.

**Hipótesis nula (H0):** No hay diferencia en el comportamiento oscilatorio del insecto antes y después del viento. Es decir, la frecuencia de oscilación y la amplitud del balanceo no cambian significativamente.

**Hipótesis alternativa (HA):** El viento sí provoca un cambio en el balanceo del insecto, aumentando su frecuencia o su amplitud.

## OBJETIVOS

Objetivo general: Evaluar la respuesta conductual de camuflaje en *Heteronemia granulicollis* en función de la velocidad del viento.

Objetivo específico:

1. Describir la respuesta de balanceo de *Heteronemia granulicollis* en condiciones experimentales.
2. Registrar la respuesta de balanceo de *Heteronemia granulicollis* cuando se le somete a un gradiente de velocidad del flujo de viento.
3. Analizar la relación entre las variables, velocidad del flujo de viento y la respuesta conductual de balanceo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño experimental

Se realizaron una serie de experimentos en condiciones controladas al interior de un túnel de viento. Se registró mediante filmación en vista lateral la respuesta de hembras adultas de *Heteronemia granulicollis*, cuando se les somete a velocidades crecientes de viento. La respuesta es definida como inicio del balanceo, número de balanceadas por unidad de tiempo y huida, lo que significa abandonar la respuesta de balanceo. El estímulo se cuantificó mediante el registro de los valores máximos y mínimos de velocidad del viento obtenidos con un filtro durante 2 minutos. El uso de filtros permite registrar 4 rangos de velocidad de viento.

El experimento se replicó para obtener 8 registros independientes, posteriormente se compararon los promedios obtenidos para la respuesta frente a cada velocidad del estímulo.

### Materiales

#### Material biológico.

Se trabajó con el insecto modelo *Heteronemia granulicollis*, para esto se mantuvo una crianza en una pecera de vidrio 33cm x 29 cm x 47,9 cm (Imagen 1), a temperatura ambiente. Los especímenes fueron alimentados periódicamente *ad libitum* con ramas de *Schinus molle* L. (Pimiento) en un recipiente con agua, a la temperatura ambiente del laboratorio.



Figura 1. Fotografía *Heteronemia granulicollis*

### **Arena experimental.**

Para la realización del experimento se construyó un túnel de viento de las siguientes dimensiones 1.85M x 55.9 cm x 52.1 cm. Se utilizaron marcos de madera, unidos en sus esquinas con canaletas y cubriendo todo el túnel con polietileno (Imagen 2).

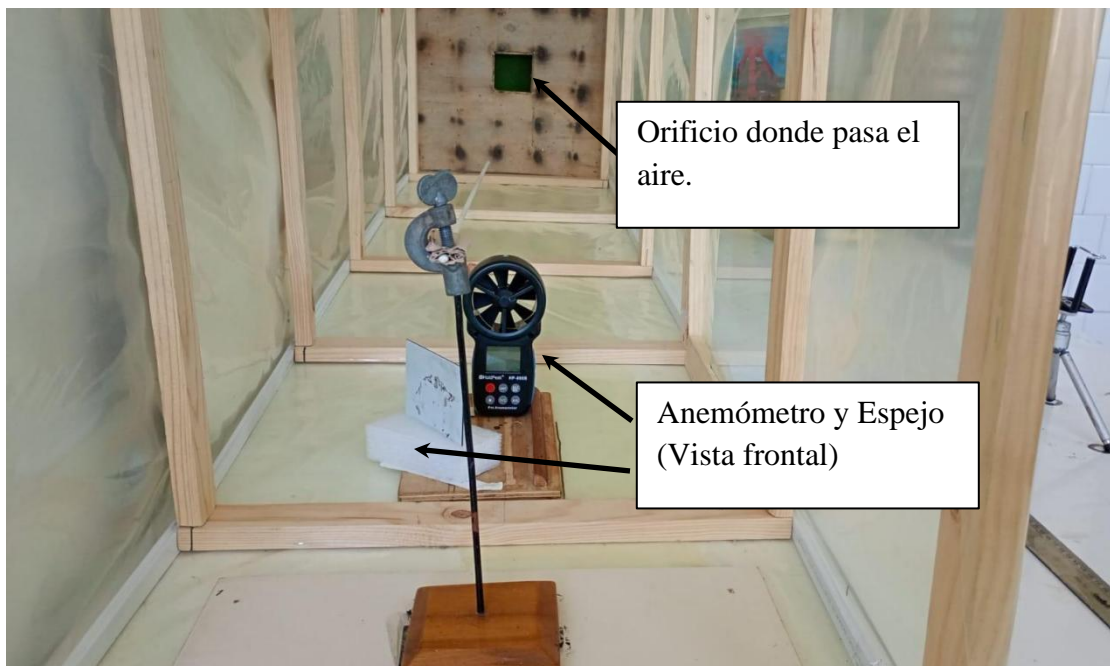


Figura 2. Fotografía sistema armado

Para mantener al espécimen posicionado, se construyó un soporte con base de madera, un pilar, una pinza y una varilla de fibra de vidrio, la estructura alcanza 29.5 cm de altura y 51.9 cm de longitud. (Imagen 6). Cuando se realice el experimento, el individuo se posará en el extremo de la varilla, debajo de este se posicionará un anemómetro y al lado de este mismo un espejo con la finalidad de poder observar los datos del anemómetro lateralmente, a un costado del espécimen se dispuso el túnel de viento un panel de vidrio para observar y registrar la respuesta del espécimen frente al estímulo

Para manipular el viento se utilizó un Soplador Aspirador de taller Stanley 600W. Fijo en el extremo opuesto del túnel de viento. Para manipular la variable velocidad del viento se construyeron 3 filtros de rejillas con diferentes tamaños de grilla. Cada uno de los marcos mide 20 cm x 20 cm, mientras que las grillas miden 10 cm x 10 cm (Figura 3).

El montaje completo de la arena experimental puede observarse en la figura 4 (incluir una figura y fotografía rotulada).

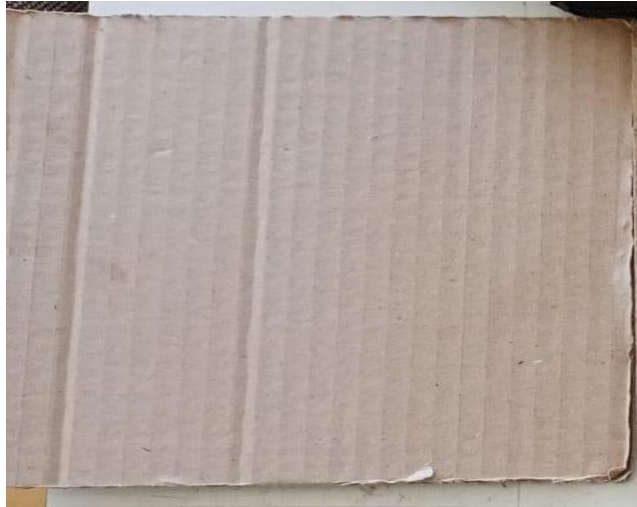


Figura 3. Tapa para los filtros.

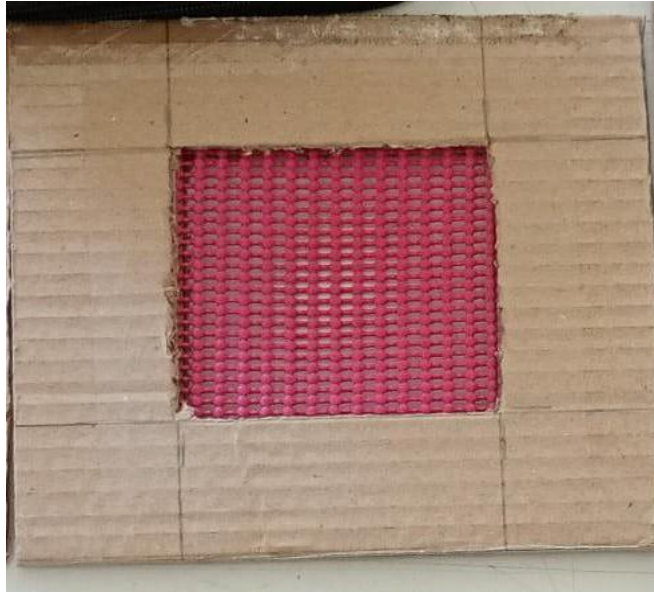


Figura 4. Filtro número 1 del sistema.



Figura 5. Filtro número 2 del sistema.



Figura 6. Filtro número 3 del sistema.

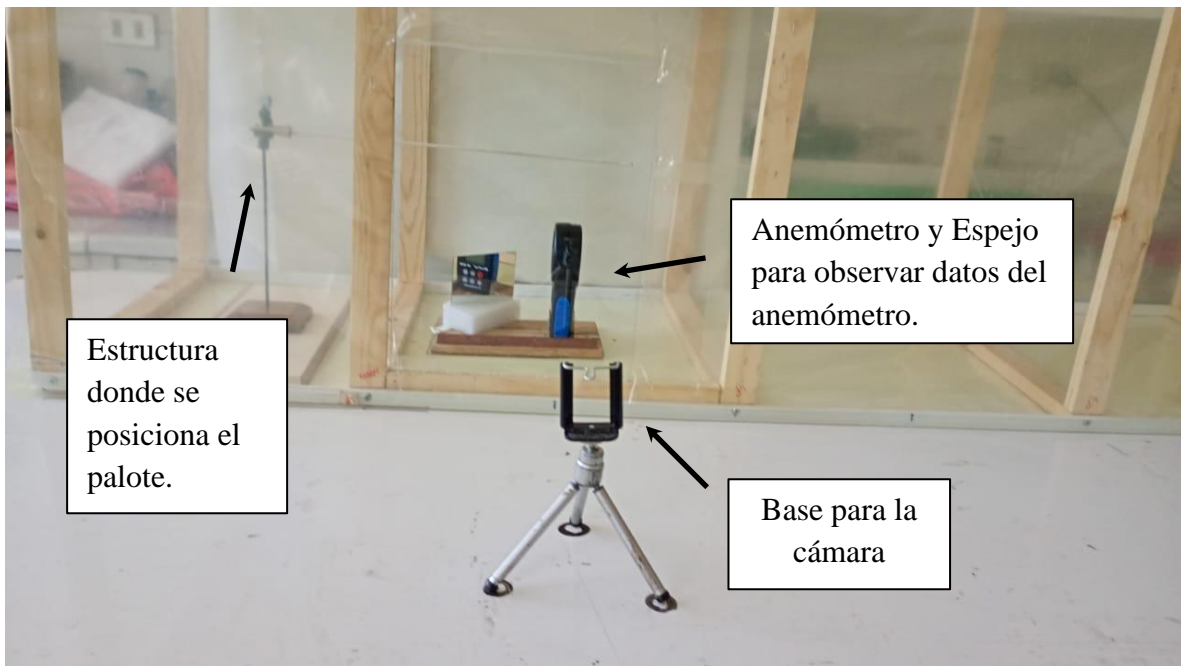


Figura 7. Fotografía lateral sistema (Rotulado).

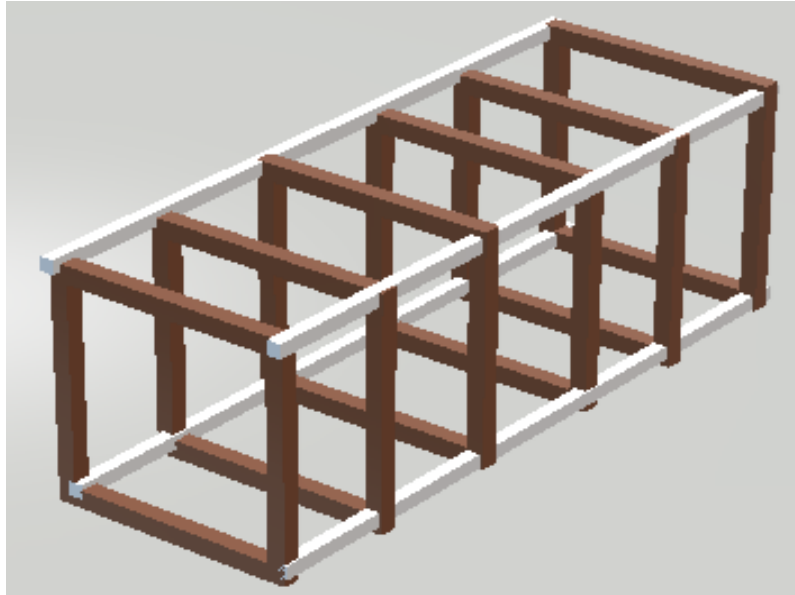


Figura 8. Esquema Caja de trabajo para la experimentación en 3D.

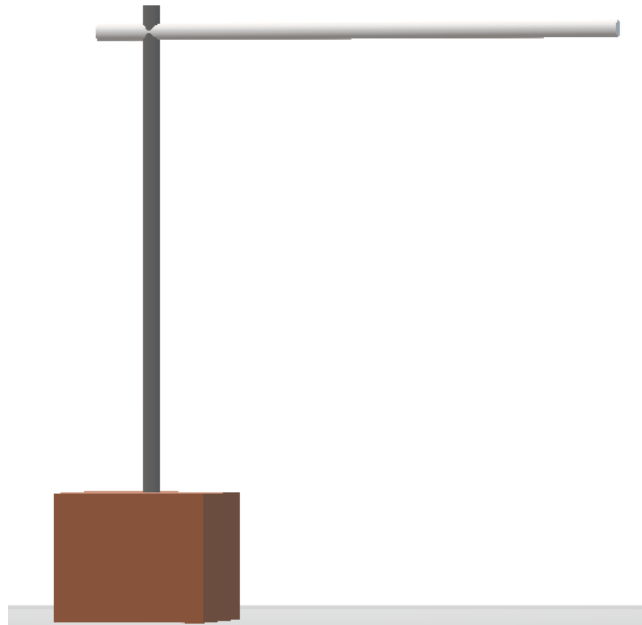


Figura 9. Esquema base de soporte para observar comportamiento de *Heteronemia granulicollis*.



Figura 10. Anemómetro utilizado para el experimento.



Figura 11. Fotografía sistema empleado para aplicar estímulo de viento.

## Protocolo de registro de datos

Se seleccionan hembras adultas de *Heteronemia granulicollis*, cada individuo fue individualizado con una marca de pintura en su tórax. El experimento comenzará retirando al espécimen del recipiente en el que se encuentra, para posicionarlo sobre la varilla del soporte.

La postura de camuflaje de inicio será con las cuatro patas traseras del insecto apoyadas en el extremo de la varilla, mientras que las dos patas anteriores quedan suspendidas fuera de la vara, colgando en dirección al flujo de viento. Esta postura debe ser cuidadosamente alineada con la flecha del anemómetro. Una vez posicionada, se dejará al espécimen durante dos minutos para su acondicionamiento, permitiendo que se adapte al entorno experimental.



Figura 12. Fotografía de *Heteronemia granulicollis* en la postura para registros del experimento.

El estímulo de viento se aplicó durante un minuto, registrando las respuestas del insecto mediante una filmación con equipo celular motorola g24 Power. Posteriormente, se les dio un tiempo de adecuación de dos minutos entre cada filtro lo que permite incrementar

sucesivamente la velocidad del viento, repitiéndose este ciclo un total de cuatro veces por espécimen para registrar el comportamiento frente al gradiente de velocidad de viento.

Para la recopilación de los datos, se registraron videos de aproximadamente 6 minutos cada uno donde se optó por no exponer al palote continuamente al viento y aplicar una pausa de 30 segundos este cada una de las fases, para minimizar la posibilidad de inducir mecidas debido a otros estímulos que no fuesen la velocidad del viento. Los sujetos experimentales fueron sometidos a un gradiente de velocidad de viento creciente subdivididas en 4 fases con la siguiente distribución en el tiempo:

a) Fase 1:

00:00 - 00:30: el individuo es sometido durante 30 segundos al estímulo con una tapa que impide el paso del viento.

00:30 - 01:30: el individuo es sometido durante un minuto al estímulo del viento a través de 3 filtros.

b) Fase 2:

01:30 - 02:00: el individuo es sometido durante 30 segundos al estímulo con una tapa que impide el paso del viento.

02:00 - 03:00: el individuo es sometido durante un minuto al estímulo del viento a través de 2 filtros.

c) Fase 3:

03:00 - 03:30: el individuo es sometido durante 30 segundos al estímulo con una tapa que impide el paso del viento.

03:30 - 04:30: el individuo es sometido durante un minuto al estímulo del viento a través de 1 filtro.

d) Fase 4:

04:30 - 05:00: el individuo es sometido durante 30 segundos al estímulo con una tapa que impide el paso del viento.

05:00 - 06:00: el individuo es sometido durante un minuto al estímulo del viento sin ningún filtro.

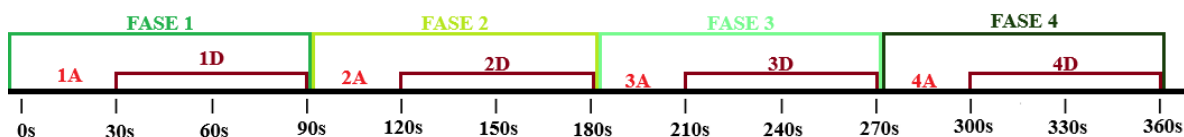


Figura 13. Esquematización de fases (en segundos)

### Metodología de extracción y análisis de datos cuantitativos

Para analizar el comportamiento de *Heteronemia granulicollis* en relación con la velocidad del viento, se utilizó el software de análisis conductual DeepLabCut (DLC), un programa de código abierto especializado en el seguimiento de puntos clave en videos mediante el uso de redes neuronales profundas. Este software permite realizar un rastreo preciso de la ubicación de puntos específicos en las partes del cuerpo de los insectos, lo cual es crucial para medir movimientos pequeños y rápidos, como los de las patas de los insectos, bajo distintas condiciones de viento. Para definir la metodología, en un comienzo se utilizaron 16 puntos morfológicos, de los cuales seleccionamos 1 para hacer el registro de distancia con la varilla. La metodología sigue el siguiente protocolo:

1. Definición de la medida: Para definir una "medida", se estableció un criterio basado en los cambios significativos en la distancia entre el tarso de las patas inferiores y el final de la pata, específicamente el punto donde esta zona hace contacto con la varilla como punto de apoyo. La "medida" se definió como cualquier cambio en la distancia en el eje y entre el tarso y la varilla que fuese superior o inferior al promedio de la distancia de los mismos puntos en ausencia del estímulo del viento, lo que indica una respuesta del insecto. Este cambio en la distancia se calculó para cada para los puntos tarso-varilla (ver figura 14). La variación de la distancia entre estos puntos se evaluó

a través de un análisis de diferencias sucesivas entre los fotogramas para identificar los momentos de flexión y extensión.

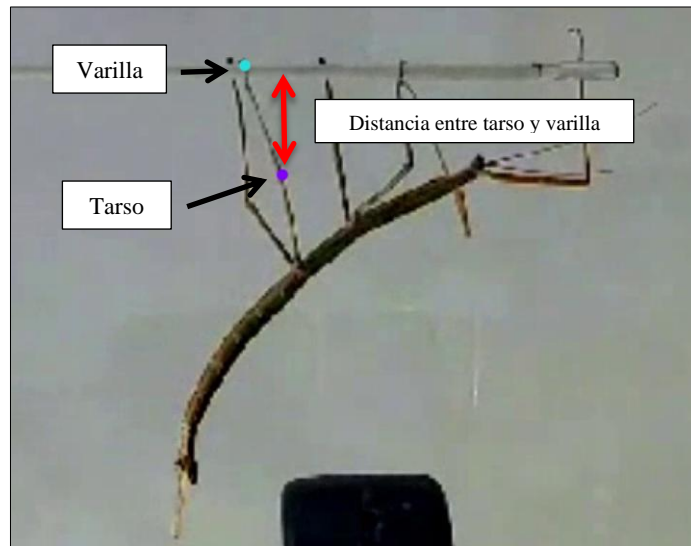


Figura 14. Puntos tarso-varilla y distancia entre ellos.

2. Configuración del Proyecto: En este punto se configuró manualmente el entorno del proyecto, utilizando un soporte de ejecución externo, en este caso Anaconda a través del programa de ejecución Python el cual presenta un código abierto, es decir, manipulable por la persona que lo utiliza. En las configuraciones basales del proyecto, se seleccionó la opción de extracción automática con un algoritmo “uniform”, esto último para asegurarnos de que la extracción de los frames sea uniforme a través del tiempo, lo que después es necesario para establecer la frecuencia de las medidas en cada etapa del experimento. El resto de los parámetros del proyecto se configuraron directamente desde el archivo config.yaml, incluido el número de frames que se quiso extraer. En el caso de las etapas A (antes del viento) debido a que tienen una duración de 30 segundos, se decidió extraer un  $\text{fps}=4$ , es decir, 4 fotogramas por segundo, dando un total de 120 frames para etiquetar. En el caso de los videos D (durante del viento) también se utilizó un  $\text{fps}=4$ , consiguiendo 240 frames. Entre ambas etapas, por cada modelo se seleccionaron 360 fotogramas para trabajar.
3. Etiquetado manual de puntos clave: Una vez configurado el proyecto, se importaron los videos grabados y se extrajeron los fotogramas para el etiquetado manual. En este

paso, se identificaron y etiquetaron las posiciones de los puntos clave en cada fotograma. La precisión en esta fase es fundamental, ya que garantiza que el modelo pueda identificar correctamente los puntos durante el análisis posterior.

4. **Extracción de Datos de Movimiento:** El análisis consistió en la extracción automatizada de las coordenadas de los puntos clave para cada fotograma de los videos grabados. El modelo estableció la posición de los puntos clave en cada fotograma, generando un conjunto de datos que contenía las coordenadas X y Y de cada punto. Estos datos fueron almacenados en un formato estructurado para su posterior análisis.
5. **Generación de Resultados y Visualización:** Para evaluar el impacto del viento en el comportamiento de balanceo del insecto palo *Heteronemia granulicollis*, se llevaron a cabo una serie de análisis basados en la medición de la distancia entre puntos de referencia en el cuerpo del insecto y su entorno. El primer paso consistió en analizar el cambio de posición del insecto mediante el cálculo de la distancia entre tarso-varilla a lo largo del tiempo. Se estableció un rango de fluctuación de esta distancia en condiciones previas al viento, considerando el valor promedio, la distancia máxima y mínima. Posteriormente, se comparó esta medida con la distancia registrada después de la aplicación del viento, identificando qué puntos superaban el rango determinado anteriormente. Además, para estos valores fuera del rango, se calculó la diferencia respecto al promedio obtenido antes del viento, con el objetivo de cuantificar en qué medida la respuesta del insecto se alejaba de su patrón normal de oscilación. Este análisis permitió evaluar de manera objetiva si la exposición al viento inducía cambios significativos en la mecánica del balanceo del insecto, proporcionando una primera aproximación cuantitativa al fenómeno.
6. **Prueba estadística:** Para analizar estadísticamente los efectos del viento en el movimiento oscilatorio de *Heteronemia granulicollis*, se aplicaron diversas pruebas estadísticas con el objetivo de evaluar diferencias significativas entre las condiciones antes del viento y durante el viento.

Primero se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si los datos siguen una distribución normal para posteriormente escoger en base a esto si utilizamos la prueba t de student para muestras pareadas o la prueba de Wilcoxon, la cual es la alternativa no paramétrica.

En resumen, el proceso de extracción de datos, análisis y generación de resultados se basó en una serie de pasos detallados que incluyen la configuración del proyecto en DeepLabCut, el etiquetado de puntos clave, la extracción de coordenadas de los puntos clave a través del análisis de videos, la identificación de las medidas basadas en variaciones de distancia entre puntos, y el análisis estadístico de los resultados. Este enfoque metodológico permitió obtener un conjunto de datos preciso y detallado, que facilitó la comprensión de cómo el viento influye en el comportamiento de *Heteronemia granulicollis* y su capacidad para camuflarse.

## Codificación del software de análisis

Para la generación de los promedios de distancia entre tarso-varilla antes del viento se utilizó el **código 1**, mientras que para la distancia entre tarso-varilla durante el viento se utilizó el **código 2** (anexo 2).

Dado que el objetivo de la investigación es conocer cómo cambia la frecuencia del movimiento del palote en relación al estímulo del viento, y que a su vez el balanceo del insecto corresponde a un movimiento oscilatorio, se utilizó la función del software **Transformada Rápida de Fourier (FFT)** adaptada para datos discretos, la cual es una herramienta matemática que permite descomponer una señal compleja en sus **componentes de frecuencia**. En otras palabras, convierte una señal que varía en el tiempo (dominio del tiempo) en una representación de qué frecuencias la componen (dominio de la frecuencia). A su vez los resultados del experimento se consideraron como datos discretos debido a que tienen solamente valores finitos asociados al tiempo y al espacio, es decir, el valor que puede tomar el tiempo es desde los 0 segundos hasta los 6 minutos, mientras que el espacio de experimentación está definido por el cuadro y los píxeles que puede abarcar la cámara utilizada. Para aplicar la FFT se utilizó el **código 3** (Anexo 2), el cual se conforma por las siguientes órdenes:

- a) Cargar los datos: Se cargan dos archivos .h5 que contienen las coordenadas de los puntos de interés (tarso-varilla) para dos condiciones temporales: antes del viento (A) y durante el viento (D).
- b) Extraer coordenadas de tarso-varilla: Utilizando la librería pandas, se extraen las coordenadas de los puntos tarso1 y varilla1 de cada archivo. Estas coordenadas están etiquetadas en niveles jerárquicos dentro de los archivos, y se seleccionan con el método xs de pandas.
- c) Calcular la distancia entre tarso1 y varilla1: Se calcula la distancia euclidiana entre las coordenadas de los dos puntos (tarso-varilla) para cada frame de video utilizando la función `np.linalg.norm`. Esta operación produce una lista de distancias para los frames antes y después del viento.

d) Obtener estadísticas antes del viento: Se calcula el promedio, el valor máximo y el mínimo de las distancias obtenidas antes del viento. Estas estadísticas permiten caracterizar la variabilidad y el rango de los movimientos del insecto en esta condición.

e) Contar frames fuera del rango: Se cuenta cuántos frames después del viento tienen distancias que superan el valor máximo o que están por debajo del valor mínimo calculado antes del viento. Esto ayuda a evaluar si el estímulo del viento ha afectado el comportamiento del insecto al aumentar o disminuir su movimiento más allá de los rangos observados previamente.

f) Aplicar la Transformada Rápida de Fourier (FFT): Para analizar las frecuencias del movimiento, se aplica la FFT a las distancias antes y después del viento. La FFT descompone las señales de distancia en componentes de frecuencia, permitiendo identificar las frecuencias dominantes del movimiento. La frecuencia 0 (que corresponde a la media de la señal) se elimina, ya que no es relevante para el análisis de las oscilaciones. A su vez, sabiendo que la señal estudiada no es periódica es necesario aplicar la Ventana de Hanning (VDH). La ventana de Hanning (también conocida como ventana de Hann) es útil cuando se trabaja con señales no periódicas, ya que ayuda a reducir los efectos de los bordes en la Transformada Rápida de Fourier (FFT), que puede generar artefactos en los resultados. Estos artefactos son causados por la discontinuidad en los extremos de la señal, ya que la FFT asume que la señal es periódica. Esto se haría multiplicando la señal de distancia por la ventana de Hanning, para suavizar los extremos de la señal.

g) Graficar el espectro de frecuencias: Finalmente, se grafican los espectros de frecuencia para las distancias antes y después del viento. La magnitud de cada componente de frecuencia se traza frente a la frecuencia correspondiente para observar cómo varía el comportamiento del insecto en función del viento. Esta gráfica ayuda a identificar las diferencias en las frecuencias del movimiento, lo que puede revelar cómo el viento afecta al insecto.

Para hacer más eficiente el análisis visual se extrapolan los datos de la FFT a un gráfico de barra que relaciona la frecuencia de cada fase del modelo con la velocidad promedio del viento. La combinación de estos análisis permitió obtener una caracterización detallada del comportamiento del insecto antes y después de la aplicación del viento, facilitando la evaluación de su respuesta biomecánica y su posible función en la estrategia de camuflaje.

Para analizar la correlación lineal entre la velocidad del viento y el movimiento de las medidas del insecto, se realizó una correlación lineal entre estas variables con Python.

## RESULTADOS

Se realizaron 20 repeticiones captadas en video, de las cuales 12 no fueron utilizadas debido a que el palote no completó las fases, por cual finalmente se trabajó con 8 videos íntegros para la extracción de datos. Tal como se señaló en el marco metodológico, cada una de estas repeticiones experimentales consta de 4 fases, y cada una de estas fases cuenta con 2 subetapas, A (antes del viento) y D (durante el viento). Es decir, cada replicación experimental utilizada constó de 8 videos para su análisis. Ej: La repetición experimental 1 se conforma por los videos 1.1A,1.1D,1.2A,1.2D,1.3A,1.3D,1.4A,1.4D.

### Replicación experimental 1:

Replicaciones “sin observaciones”, es decir todos sus datos son transformados en resultados.

	Promedio distancia (px) tarso1 - Varilla1	Velocidad viento promedio (m/s)	rango [min - máx] velocidad viento	observaciones
1.1A	79,09	0	0	Sin observaciones
1.1D	85,5	0,8875	0,2-1,3	Sin observaciones
1.2A	93,42	0	0	Sin observaciones
1.2D	94,9	1,1365	0,1-2,1	Sin observaciones
1.3A	99,5400	0	0	Sin observaciones
1.3D	96,44	1,6071	0,2-2,5	Sin observaciones
1.4A	92,55	0	0	Sin observaciones
1.4D	80,94	1,853	0,1-4,0	Sin observaciones

Figura 15. Replicación experimental 1 de toma de datos.

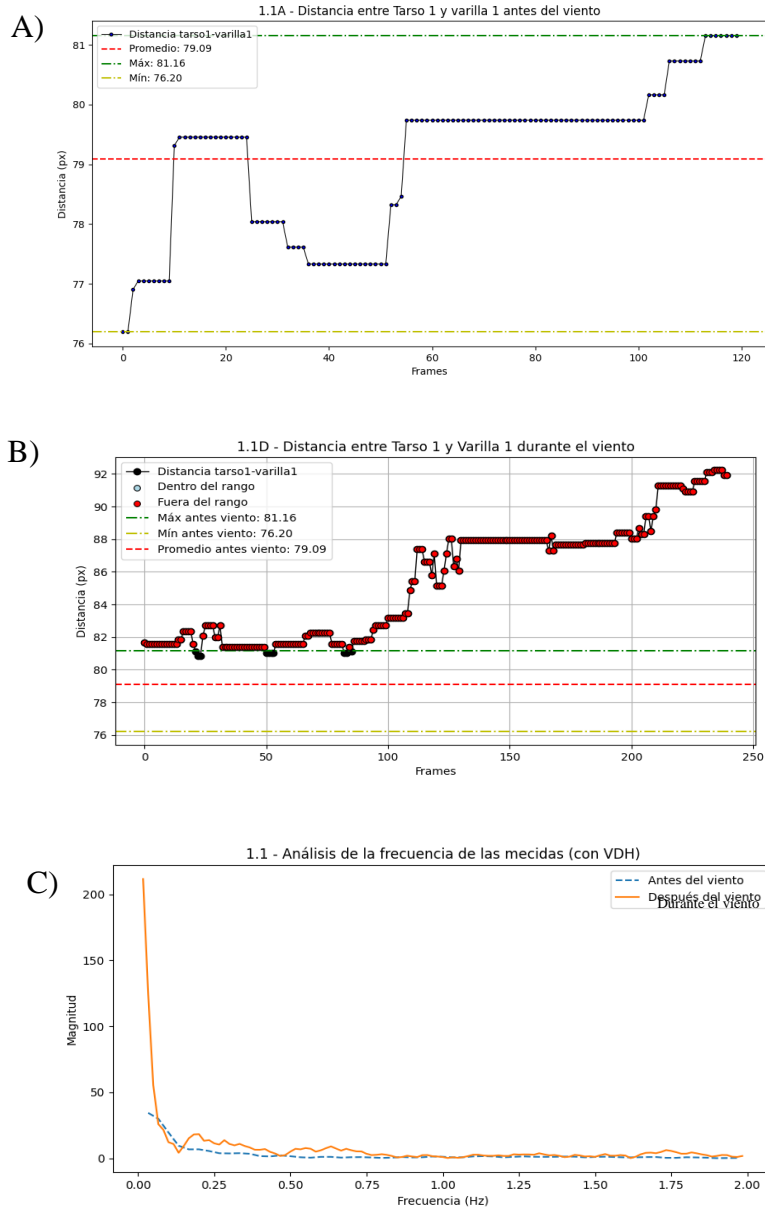


Figura 16. Replicación experimental 1

**A) Distancia entre tarso-varilla antes del viento**, calculando la distancia en píxeles y sondeando mediante puntos cómo cambia esta distancia a través de los frames; lo mismo se aplica en el gráfico **(B)** pero en la etapa durante el viento. En el gráfico **(C) análisis de la frecuencia de las medidas con ventana de Hanning**, antes del viento (línea azul) el insecto presenta oscilaciones de baja magnitud en todas las frecuencias, lo que indica un movimiento moderado y estable. Durante el viento (línea naranja), la magnitud de las medidas aumenta significativamente en frecuencias bajas, sugiriendo que el insecto amplifica sus movimientos lentos y amplios en respuesta al estímulo.

Replicación experimentación 1

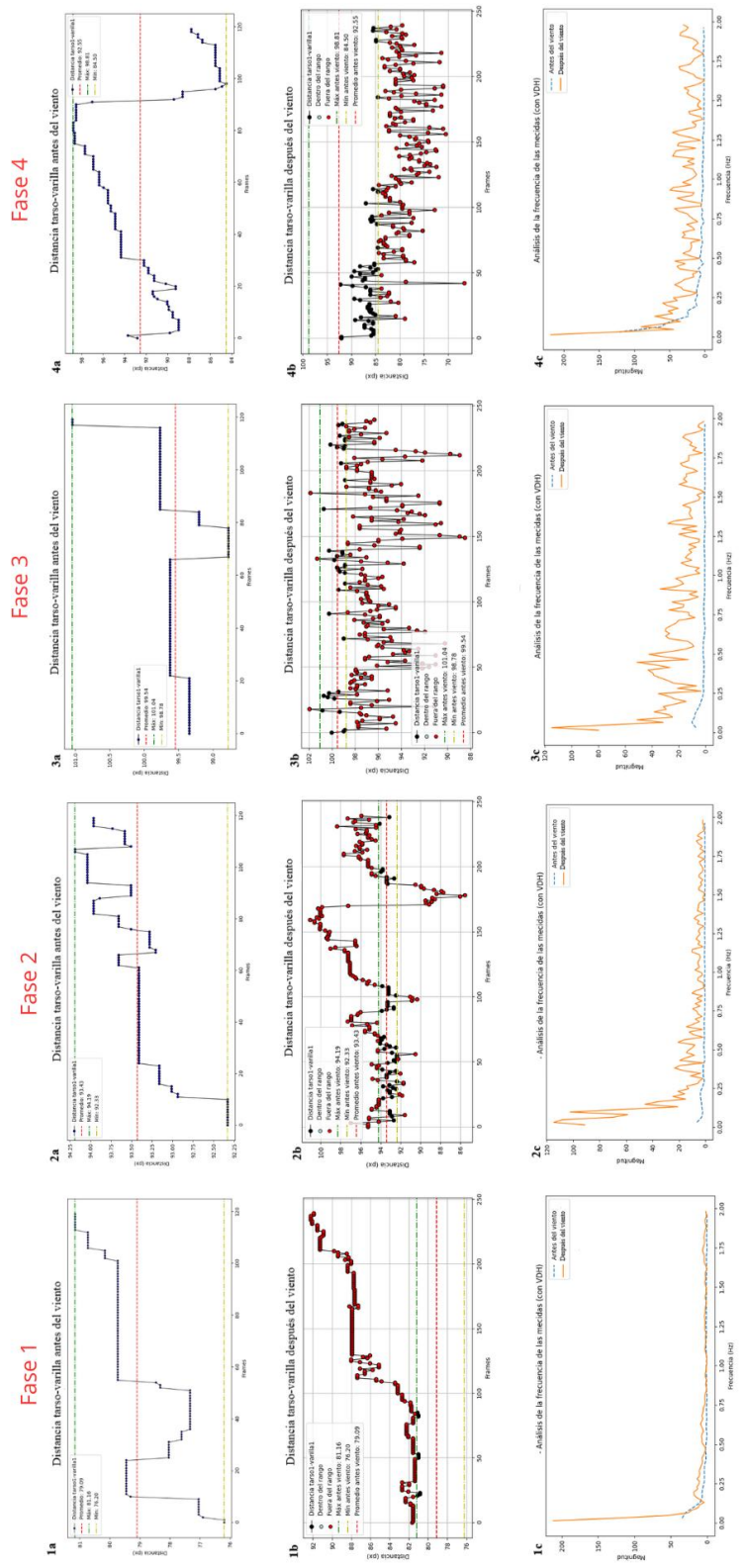


Figura 17. Replicación experimental 1 y sus fases.

Leyenda: Distancia tarso-varilla durante la fase 1 antes del estímulo del viento (1a), distancia entre el tarso-varilla durante el estímulo del viento (1b), y cambios en la magnitud de las oscilaciones del insecto durante los frames extraídos para antes y durante el viento (1c). Esto se repite para la fase 2 (2a-2c), para la fase 3 (3a-3c) y para la fase 4 (4a-4c)



Los datos de promedio de frecuencias y velocidad del viento se promedian para cada una de las fases arrojando un número que posteriormente fue usado en el análisis global:

	Fase 1.1	Fase 1.2	Fase 1.3	Fase 1.4
Promedio frecuencia (hz)	0,4064	0,4407	0,7091	0,77
Velocidad viento (m/s)	0,8875	1,1365	1,6071	1,853

Figura 18. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 1.

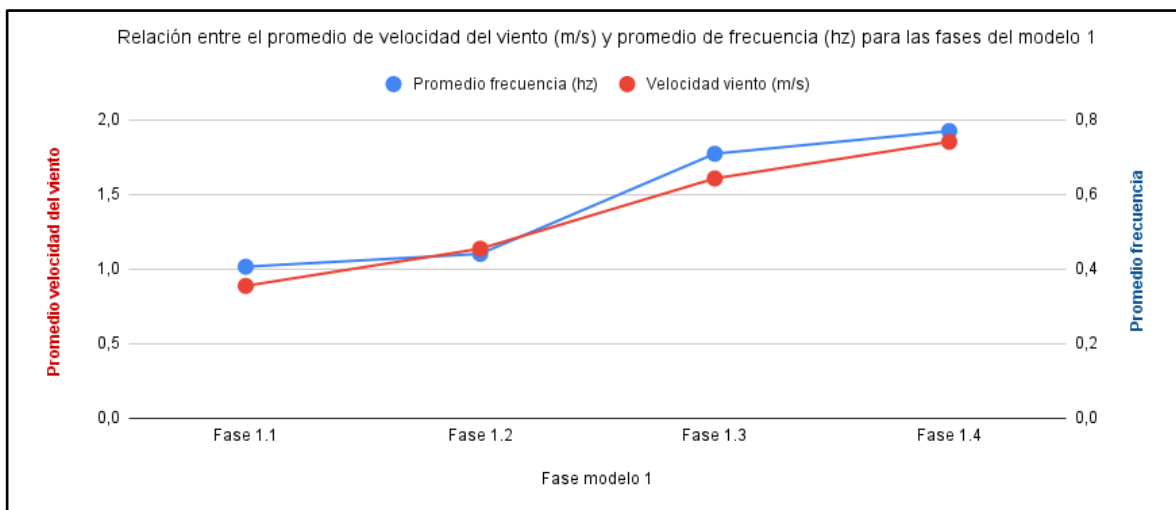


Gráfico 1. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 1.

Los mismos análisis y gráficos que se realizaron para la replicación 1, se hicieron a su vez para las otras 7 replicaciones experimentales (Anexo 3).

## Análisis global de las replicaciones experimentales

Se utilizaron los datos de las tablas de las 8 replicaciones experimentales y se promedió entre sí para arrojar un valor final que señala el promedio global de frecuencias y velocidades del viento para cada una de las etapas de la experimentación, consiguiendo la siguiente tabla:

	Fase X.1	Fase X.2	Fase X.3	Fase X.4
Promedio frecuencia (hz)	0,4254	0,7205	0,7748	0,9126
Velocidad viento (m/s)	0,8107	1,8194	1,96225	2,52415

Figura 19. Comparación promedio/velocidad para las fases de todos los modelos.

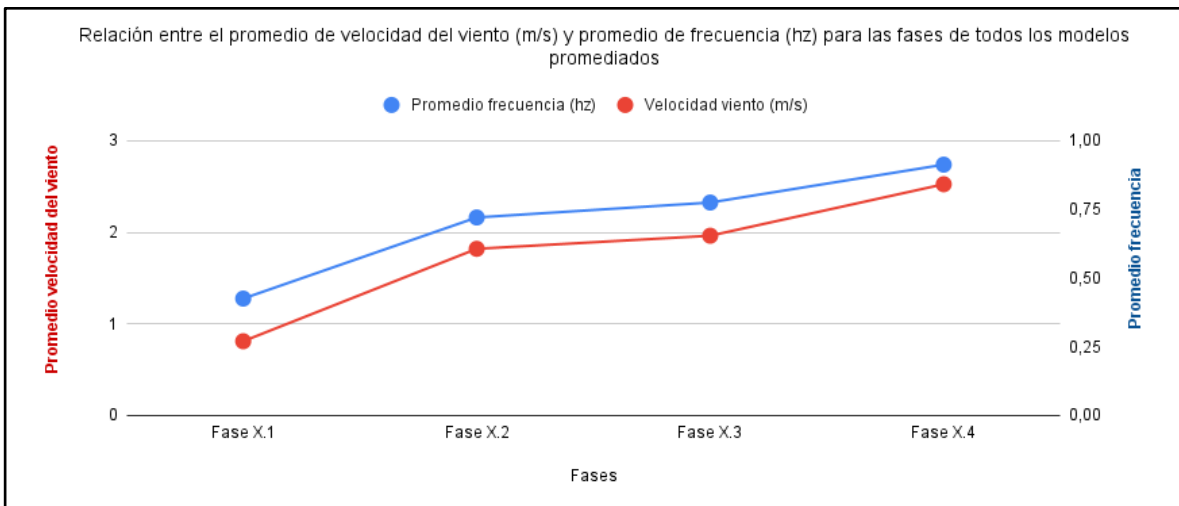


Gráfico 2. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias para las fases de todos los modelos promediados.

### Análisis con pruebas estadísticas

Debido a que las pruebas estadísticas funcionan mejor con mayor cantidad de datos, se decidió utilizar los 28 promedios obtenidos de las frecuencias de las medidas y la velocidad del viento de las réplicas experimentales, y no los 4 datos por variable conseguido en el promedio global:

N° dato	Frecuencia medidas	velocidad viento	N° dato	Frecuencia medidas	velocidad viento
1	0.4064	0.8875	15	0.9395	1.8659
2	0.4407	1.1365	16	0.3548	0.6583
3	0.7091	1.6071	17	0.7636	2.2113
4	0.7700	1.853	18	0.6360	1.9672
5	0.3561	0.625	19	0.5368	1.085
6	0.6341	2.0077	20	0.8775	1.9911
7	0.7624	2.3925	21	0.9	2.0787
8	0.5445	0.98	22	0.9689	2.7897
9	0.8785	1.5021	23	0.4678	0.7878
10	0.7615	1.4428	24	0.9337	2.5906
11	0.9721	3.588	25	0.9589	2.6081
12	0.3959	0	26	0.3469	0.6517
13	0.4893	1.3723	27	0.7466	2.2239
14	0.7279	1.8277	28	0.7428	1.7709

Primero se aplica la prueba de **Shapiro-wilk** para establecer si las variables (velocidad del viento y frecuencia de mecidas) siguen una distribución normal a través de las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H0): Los datos siguen una distribución normal, es decir, no hay evidencia suficiente para rechazar la suposición de que los datos son normales.

Hipótesis alternativa (HA): Los datos no siguen una distribución normal, es decir, en este caso hay evidencia suficiente para concluir que los datos no siguen una distribución normal.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i(x_i - \bar{x}))^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Figura 20. Fórmula prueba Shapiro-Wilk

Para esto, se consideró el siguiente proceso de interpretación:

Si el p-valor es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula y concluimos que los datos siguen una distribución normal.

Si el p-valor es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula y concluimos que los datos no siguen una distribución normal.

Se reemplazó la resolución manual de la fórmula de Shapiro- Wilk por la implementación de un código ejecutado en python que utiliza la librería de deeplabcut, específicamente el programa `scipy.stats`, el cual es un submódulo de la biblioteca científica SciPy que ofrece funciones estadísticas y probabilísticas (anexo ...)

### **Resultados prueba Shapiro- Wilk.**

Frecuencia de mecidas:

- Estadístico W: 0.9185
- p-valor: 0.0319

Como el p-valor es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula, es decir la frecuencia de las mecidas no siguen una distribución normal.

Velocidad del viento:

- Estadístico W: 0.9848
- p-valor: 0.9457

En este caso, el p-valor es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, es decir, la velocidad del viento sigue una distribución normal.

### **Prueba estadística Wilcoxon.**

Como al menos una de las variables tiene una distribución no normal, se utiliza el test de Wilcoxon. Esta prueba indica que sí hay diferencias significativas entre las muestras relacionadas.

Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa entre las dos muestras relacionadas.

Esto implica que la **mediana** de las diferencias entre las parejas de datos es **cero** (es decir, no hay un cambio sistemático entre las dos variables que se comparan).

Hipótesis alternativa (HA): Hay una diferencia significativa entre las dos muestras relacionadas. Esto implica que la **mediana** de las diferencias entre las parejas de datos **no es cero**.

Para esto, se consideró el siguiente proceso de interpretación:

Si el **p-valor** es **menor que 0.05**, **rechazamos la hipótesis nula** y concluimos que **existe una diferencia significativa** entre las dos variables que estamos comparando. En este caso, significa que existe una diferencia significativa entre la frecuencia de las medidas y la velocidad del viento.

Si el **p-valor** es **mayor que 0.05**, **no rechazamos la hipótesis nula** y concluimos que **no hay evidencia suficiente** para afirmar que haya una diferencia significativa entre las dos variables.

Al igual que con la prueba Shapiro- Wilk, se reemplazó la resolución manual de la fórmula de Wilcoxon por la implementación de un código ejecutado en python (anexo ...)

### **Resultado prueba Wilcoxon.**

Estadístico de Wilcoxon: 5.0

p-valor: aproximadamente 0.0000000745

Dado que el **p-valor** es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que hay una diferencia significativa entre las frecuencias de medicadas y las velocidades del viento en la muestra.

Finalmente se grafican los resultados con un gráfico de tendencia utilizando un código que utiliza la librería seaborn, numpy y matplotlib.pyplot, todas herramientas de deeplabcut ejecutables en Python (anexo)

**Correlación lineal entre Velocidad del Viento y Frecuencia de medicadas**

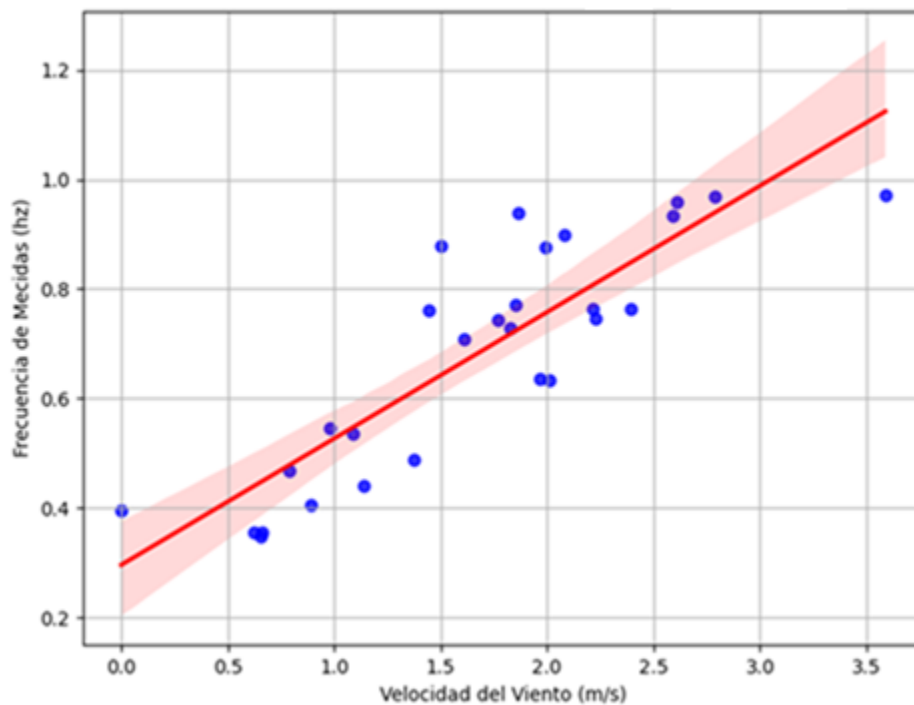


Gráfico 3. Correlación lineal entre velocidad del viento (m/s) y frecuencia de medicadas (hz).

La correlación lineal indica un coeficiente de correlación ( $r$ ) de aproximadamente 0,87 y un  $R^2$  de 0,75. La ecuación de  $y = 3.2535x - 0.5495$  nos permite generar futuras proyecciones si se quisieran modelar de manera indefinida. La banda achurada en el gráfico representa el intervalo de confianza del 95%.

## DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó la relación entre la **frecuencia de mecidas** de *Heteronemia granulicollis* y la **velocidad del viento**, analizando si este factor ambiental influye en la modulación de su comportamiento de balanceo. Al igual que estudios previos en insectos palo, donde se ha descrito el balanceo como una respuesta adaptativa al viento para mejorar la cripsis (Robinson, 1966, 1969), los resultados obtenidos en este trabajo evidencian una relación directa y significativa entre ambas variables.

### Interpretación de los resultados

Los datos obtenidos a partir del análisis estadístico mediante la prueba de Wilcoxon indican que existe una relación significativa entre la **frecuencia de mecidas** y la **velocidad del viento**, lo que confirma la hipótesis de que este insecto ajusta su comportamiento en función de estímulos ambientales. Estos resultados coinciden con estudios previos en Phasmida, donde se ha observado que ciertos insectos ajustan su balanceo para sincronizarse con las oscilaciones naturales del entorno y así mejorar su camuflaje (Biana, Elgara & Peterbs, 2016). Este hallazgo refuerza la idea de que el camuflaje es una estrategia adaptativa clave en ambientes donde el viento es un factor constante.

Desde un punto de vista biomecánico, la sincronización del balanceo con la velocidad del viento podría representar un mecanismo de defensa efectivo contra depredadores visuales, como se ha demostrado en estudios en otras especies, debido a que un movimiento atípico con el entorno sería muy notorio (Fleishman, 1988). Estos hallazgos indican que el balanceo en *Heteronemia granulicollis* no es un comportamiento aleatorio, sino una respuesta adaptativa a condiciones ambientales específicas.

### Implicaciones de los hallazgos

La relación significativa entre la velocidad del viento y la frecuencia de mecidas en *Heteronemia granulicollis* refuerza la hipótesis de que el camuflaje en Phasmida no es únicamente estático, sino que puede incluir componentes dinámicos ajustados a estímulos ambientales (Kang et al. (2015). Este hallazgo tiene implicaciones importantes en la ecología

del comportamiento, ya que sugiere que los insectos pueden modular activamente su movimiento para mejorar su cripsis.

Metodológicamente, el uso de **DeepLabCut** permitió una cuantificación precisa del movimiento del insecto, lo que representa una mejora en el análisis de patrones conductuales en pequeños organismos. Este tipo de herramientas abre nuevas posibilidades para futuros estudios sobre camuflaje en insectos y otros artrópodos, permitiendo una evaluación más detallada de las respuestas comportamentales en distintos contextos ecológicos.

Se puede concluir una correlación lineal significativa entre los valores velocidad del viento y frecuencia de medidas en el experimento gracias a los resultados obtenidos en el gráfico 3, estos resultados demuestran nuestra hipótesis, ya que su correlación lineal es del 0,86666 y posee un  $R^2$  de 0,75r, lo que indica que el 75% de la variación en la frecuencia puede ser explicada por la velocidad del viento. Esto podría significar que *Heteronemia granulicollis* ajusta activamente su comportamiento de camuflaje en función de las condiciones ambientales, incrementando la frecuencia de sus movimientos con el aumento del viento. Como se trabajó con un modelo lineal la ecuación correspondiente es de  $y = 3.2535x - 0.5495$ . el cual, si bien muestra una relación significativa, no captura completamente el comportamiento real del insecto. Esto se debe a que el modelo no considera otros factores clave, como la respuesta de huida de *Heteronemia granulicollis* ante amenazas, un comportamiento observado en su entorno natural que podría influir en la dinámica de sus movimientos. Por lo tanto, aunque el modelo lineal ofrece una aproximación útil, no refleja la complejidad total de su conducta en condiciones naturales.

### **Limitaciones y direcciones futuras**

A pesar de los avances logrados, este estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse. En primer lugar, el **tamaño muestral** podría haber influido en la capacidad para detectar patrones sutiles en la respuesta de los insectos al viento. Investigaciones futuras podrían ampliar la muestra e incluir diferentes grupos etarios o sexos para evaluar posibles variaciones en la respuesta al viento. Además, la experimentación se realizó en un entorno controlado, lo que limita la generalización de los resultados a escenarios naturales. Estudios complementarios en campo podrían ayudar a dilucidar si factores adicionales, como la

estructura del sustrato o la presencia de depredadores, influyen en la expresión del balanceo en *Heteronemia granulicollis*.

Otra posible dirección futura es la comparación inter-específica, evaluando si otras especies pertenecientes a Phasmida presentan patrones similares o si la relación entre balanceo y viento varía según el hábitat o la ecología de cada especie. Finalmente, el análisis de otras señales ambientales, como la luz o la temperatura, podría aportar mayor información sobre los factores que modulan el comportamiento de camuflaje en esta especie.

## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio demuestran que la **frecuencia de mecidas de *Heteronemia granulicollis*** está significativamente influenciada por la **velocidad del viento**, evidenciando que el insecto ajusta activamente su movimiento en respuesta a este factor ambiental.

Estos hallazgos aportan información valiosa sobre la dinámica del camuflaje en Phasmida y subrayan la importancia de considerar factores ambientales en el estudio del camuflaje. Además, el uso de herramientas avanzadas como DeepLabCut permitió cuantificar de manera precisa esta relación, destacando la relevancia de métodos computacionales en estudios ecológicos y biomecánicos.

Futuros estudios con un mayor número de individuos y en condiciones naturales permitirán confirmar estos resultados y explorar su aplicabilidad en otros entornos. Asimismo, la comparación con otras especies proporcionará una visión más amplia sobre la evolución y adaptaciones del camuflaje en artrópodos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beddard, F. E. (1895). *Animal coloration: An account of the principle facts and theories relating to the colours and markings of animals* (2nd ed.). Swan Sonnenschein.
- Bian, X., Elgar, M. A., & Peters, R. A. (2016). The swaying behavior of *Extatosoma tiaratum*: Motion camouflage in a stick insect? *Behavioral Ecology*, 27(1), 83–92. <https://doi.org/10.1093/beheco/arv156>
- Brock, P. D., Büscher, T. H., & Baker, E. (n.d.). *Phasmida Species File Online*. Phasmida Species File. <https://phasmida.speciesfile.org/>
- Caro, T. (2005). *Antipredator defenses in birds and mammals*. University of Chicago Press.
- Cuthill, I. C. (2019). Camouflage. *Journal of Zoology*, 308(2), 75–92. <https://doi.org/10.1111/jzo.12661>
- Cuthill, I. C., Stevens, M., Windsor, A. M. M., & Walker, H. J. (2006). The effects of pattern symmetry on the anti-predator effectiveness of disruptive and background matching coloration. *Behavioral Ecology*, 17, 828–832. <https://doi.org/10.1093/beheco/arl038>
- Domínguez, M. C., & Vera, C. (2014). Diversidad de Phasmatodea en Chile. En Ministerio del Medio Ambiente (Ed.), *Biodiversidad de Chile, patrimonio y desafíos* (pp. 290–295). Ministerio del Medio Ambiente.
- Endler, J. A. (1978). A predator's view of animal color patterns. *Evolutionary Biology*, 11, 319–364.
- Endler, J. A. (1984). Progressive background matching in moths, and a quantitative measure of crypsis. *Biological Journal of the Linnean Society*, 22, 187–231. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1984.tb01703.x>
- Fleishman, L. J. (1985). Cryptic movements in the vine snake *Oxybelis aeneus*. *Copeia*, 91, 242–245. <https://doi.org/10.2307/1445644>
- Fleishman, L. J. (1986). Motion detection in the presence and absence of background motion in an *Anolis* lizard. *Journal of Comparative Physiology A*, 159, 711–720. <https://doi.org/10.1007/BF00696039>

- Fleishman, L. J. (1988). Sensory influences on physical design of a visual display. *Animal Behaviour*, 36, 1420–1424. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(88\)80080-1](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(88)80080-1)
- Goldberg, J., Bresseel, J., Constant, J., Kneubühler, B., Leubner, F., Michalik, P., Bradler, S., & Robertson, J. A. (2020). Extreme convergence in stick insect evolution: Phylogenetic placement of the Lord Howe Island tree lobster. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 98. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00098>
- Kang, C., Stevens, M., Moon, J. Y., Lee, S. I., & Jablonski, P. G. (2015). Camouflage through behavior in moths: The role of background matching and disruptive coloration. *Behavioral Ecology*, 26(1), 45–54. <https://doi.org/10.1093/beheco/aru155>
- Merilaita, S., Scott-Samuel, N. E., & Cuthill, I. C. (2017). How camouflage works. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1724), 20160341. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0341>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos* (3<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Ministerio del Medio Ambiente.
- Moya, A. (2015). Clase Insecta: Orden Phasmatodea. *Revista IDE@ - SEA*, 45, 1–11.
- Museo de Historia Natural de Concepción. (n.d.). Insecto palo (palote). Recuperado el 17 de julio de 2024, de <https://www.mhnconcepcion.gob.cl/noticias/insecto-palo-palote>
- Museo Nacional de Historia Natural. (n.d.). Insectos palo o palotes. Recuperado el 17 de julio de 2024, de <https://www.mnhn.gob.cl/noticias/insectos-palo-o-palotes>
- Norris, K. S., & Lowe, C. H. (1964). An analysis of background color-matching in amphibians and reptiles. *Ecology*, 45, 565–580. <https://doi.org/10.2307/1932472>
- Pohl, S., Bungum, H. Z., Lee, K. E. M., Sani, M. A. B., Poh, Y. H., Wahab, R. B. H. A., Norma-Rashid, Y., & Tan, E. J. (2022). Age and appearance shape behavioral responses of phasmids in a dynamic environment. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 767940. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.767940>
- Poulton, E. B. (1890). *The colours of animals: Their meaning and use. Especially considered in the case of insects* (2nd ed.). Kegan Paul, Trench Trubner, & Co.

- Robinson, M. H. (1966). Anti-predator adaptations in stick- and leaf-mimicking insects. *Animal Behaviour*, 14, 587. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(66\)80038-2](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(66)80038-2)
- Robinson, M. H. (1969). The defensive behavior of some orthopteroid insects from Panama. *Transactions of the Royal Entomological Society of London*, 121, 281–303. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1969.tb02074.x>
- Ruxton, G. D., Sherratt, T. N., & Speed, M. P. (2018). *Avoiding attack: The evolutionary ecology of crypsis, warning signals, and mimicry* (2<sup>a</sup> ed.). Oxford University Press.
- Scali, V. (2009a). Revision of the Iberian stick insect genus *Leptynia* Pantel and description of the new genus *Pijnackeria*. *Italian Journal of Zoology*, 76(4), 381–391. <https://doi.org/10.1080/11250000802573333>
- Scali, V., Milani, L. M., & Passamonti, M. (2012). Revision of the stick insect genus *Leptynia*: Description of new taxa, speciation mechanism and phylogeography. *Contributions to Zoology*, 81(1), 25–42. <https://doi.org/10.1163/18759866-08101002>
- Stevens, M., & Merilaita, S. (2011). *Animal camouflage: Mechanisms and function*. Cambridge University Press.
- Thayer, A. H. (1896). The law which underlies protective coloration. *The Auk*, 13, 477–482. <https://doi.org/10.2307/4067825>
- Thayer, G. H. (1909). *Concealing-coloration in the animal kingdom: An exposition of the laws of disguise through color and pattern*. Macmillan.
- Zapata, S., & Torres, E. (1970). Biología y morfología de *Bacteria granulicollis* (Blanchard) (Phasmida). *Publicaciones del Centro de Estudios Entomológicos*, 10, 23–31.



## ANEXOS

### **Anexo 1: Descripción morfológica de *Heteronemia granulicollis*:**

#### **A- Cabeza:**

La cabeza de Phasmida es ligeramente rectangular, cilíndrica y de posición prognata. Poseen un par de ojos compuestos, muy redondos y bastante sobresalientes. En el vertex y sobre la línea media, a la altura de los ojos, se encuentran las antenas, enmarcando la base de estas hay una depresión esférica bastante notoria. Esta depresión está algo menos quitinizada, lo que permite la movilidad de las antenas.

Las antenas son filiformes, muy delgadas, el escapo es rectangular, el pedicelo es también rectangular y de la mitad de la longitud del escapo. El flagelo es bastante largo alcanzando más longitud en el macho que en la hembra, es esta el número de antenitos es de 26 y en el macho es de 22, en este caso cada antenito es casi el doble de la longitud de los de la hembra. En cada caso los antenitos aumentan de longitud a medida que se alejan del escapo.

La armadura bucal es de tipo masticador, adaptada para morder tejidos vegetales. Las mandíbulas son fuertes y romas, de forma triangular, truncadas en el extremo. En su cara interna poseen una excavación cuyo borde externo sobresale y en él se encuentran unos pequeños dientes, algo romos. Las mandíbulas en su extremo están fuertemente quitinizadas.

Las maxilas en comparación con las mandíbulas son más pequeñas y poco quitinizadas y casi transparentes. Poseen una lacinia, que es la porción más quitinizada y coloreada de las maxilas y que en su extremo posee tres dientes agudos y firmes. Por debajo de los dientes y por la cara interna se encuentra un conjunto de setas gruesas y firmes. La glosa es laminar y en su extremo redondeada, es poco quitinizada. El estipe es también laminar y el cardo bastante ancho. El palpo maxilar posee cinco artejos provistos de pequeñas y fuertes setas.

El labio se encuentra por la cara inferior de la boca y contribuye a formar parte de la formación inferior de la cabeza hasta el cuello. Las glosas son dos pequeñas formaciones laminares y redondeadas, ubicadas por dentro y por debajo de las

paraglosas, estas son más largas que las glosas. Las paraglosas son redondeadas en su extremo y en la parte interna poseen una excavación donde se alojan parcialmente las glosas. El mentón es ancho y angosto, algo ovalado en sus extremos. El submentón es más grande y laminar. La gula es corta y sus extremos puntudos. Clípeo y labro presente. El clipeo es ligeramente rectangular y bilobulado. El labro es también bilobulado y con bordes curvos.

## **B- El tórax:**

Las porciones características del tórax de un insecto son fácilmente reconocibles en *Heteronemia granulicollis* y cada porción no presenta ninguna unión o articulación fuera de las normales.

El protórax, como es característico del orden, es sumamente reducido en comparación con el meso y metatórax. El pronoto está fuertemente dibujado presentando surcos en todas direcciones. En la parte anterior del pronoto, cerca del ángulo, se encuentran dos orificios muy semejantes a los estigmas, incluso poseen dos labios muy pequeños. Estos orificios corresponden a la salida de glándulas especiales que se encuentran tanto en el macho como en la hembra. En su parte media posee una formación como una cruz, lateralmente hay un surco que forma un repliegue alargado, en el cual, en su porción posterior, se encuentra el estigma protorácico, que es grande y formado por dos labios grandes. En la parte anterior de este despliegue, hay una excavación donde se alojan los procesos que forman la base de la pata, que nace más o menos en la mitad del protórax por debajo del estigma. El proesterno está representado sólo por una formación triangular que enmarca y sobresale de las patas.

La pata protorácica de esta especie corresponde a una típica pata andadora. La coxa es grande, ancha y redondeada, en su parte dorsal presenta una muesca grande y profunda, que permite amplios movimientos del resto de la pata. El trocánter es pequeño y rectangular y del mismo grosor que el fémur, este es largo y robusto, casi cuadrado, presentando en sus aristas una expansión delgada y fina. La porción basal del fémur se adelgaza y curva un poco dejando una cavidad que permite abrazar la cabeza cuando el ejemplar estira su primer par de patas durante el reposo. La tibia es tan larga como el fémur, pero algo más delgada, también algo cuadrada y con finas

expansiones laterales desde sus cuatro aristas. El tarso está formado por cinco artejos, todos ellos de diferente tamaño, el artejo basal es tan largo como el segundo, tercero y cuarto juntos, el quinto tarsito termina en dos garras fuertes y un arolio triangular. Cada tarsito está cubierto lateralmente de numerosos pelitos.

El mesotórax corresponde a la porción más larga del tórax. El mesonoto es liso, libre de todo surco, su superficie presenta solo algunas prominencias del tamaño de la cabeza de un alfiler, estas prominencias se encuentran repartidas sin ningún orden. El mesoesterno también es liso, libre incluso de las prominencias ya descritas. El mesoesterno presenta en su parte anterior un pliegue, como un surco que delimita una porción casi esférica, por lo general en la parte central de esta porción se encuentra un pequeño orificio circular. Toda esta porción está provista de arrugas. El mesonoto presenta hacia el extremo posterior un pliegue que posteriormente se ensancha para alojar la pata, por encima de ésta se encuentra el segundo par de estigmas, que es grande. La pleura está representada por una delgada banda, de aspecto y consistencia diferente al noto y esterno, por lo general la pleura se repliega, haciendo que el noto se una y superponga al esterno. Esta pleura recorre en toda su longitud al meso y metatórax. El par de patas mesotorácicas es igual, en cuanto a la morfología con el par protorácico pero es de menor tamaño que estas.

En el metatórax, el noto es casi liso, presentando en su superficie algunas prominencias; su tamaño es algo menor que el mesonoto, pero siempre más largo que el pronoto. El esterno es totalmente liso y en sus bordes laterales presenta un surco en toda su extensión. En el extremo posterior del esternon? y entre las patas posteriores hay un profundo surco en forma de una x, Las pleuras están muy reducidas, siendo más amplia por delante de las patas. Por encima de esta se encuentran los estigmas protorácicos y mesotorácicos que son muy chicos en comparación con los estigmas protorácicos y mesotorácicos. *Heteronemia granulicollis* presenta tres pares de estigmas respiratorios colocados en la parte posterior de cada segmento torácico. Los estigmas protorácicos y mesotorácicos son grandes y protegidos por dos estructuras semejantes a los labios. El par de estigmas

metatorácicos es pequeño, sin ninguna protección y muy semejante a los estigmas abdominales.

### **C- Abdomen:**

El abdomen en ambos sexos es alargado y cilíndrico formado por siete segmentos visibles. Cada segmento presenta un tergo liso que ocasionalmente presenta pequeños tubérculos. Los esternos son también lisos y algo más reducidos que los tergos. Las pleuras han alcanzado un mayor desarrollo en especial en las hembras para facilitar la dilatación del abdomen durante la época de postura. Tanto el macho como la hembra tienen siete pares de estigmas abdominales colocados en la parte anterior de cada segmento. El extremo del abdomen del macho y de la hembra difiere bastante debido a la genitalia de ambos sexos (Zapata & Torres, 1970, p.24).

## Anexo 2: Códigos de trabajo

**Código 1:** Generación de los promedios de distancia entre tarso 1 y varilla 1 antes del viento

```
Import pandas as pd

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

# Ruta del archivo H5 para el video X.XA

ruta_archivo = r"C:\Users\tiare\Desktop\palotes_final-tiare-2025-03-03\labeled-
data\X.XA\CollectedData_tiare.h5"

# Cargar el archivo H5

df = pd.read_hdf(ruta_archivo)

# Extraer coordenadas Y de tarso1 y varilla1 (ajustado para X.XA)

y_tarso1 = df.loc[:, ("tiare", "tarso1", "y")].values

y_varilla1 = df.loc[:, ("tiare", "varilla1", "y")].values

# Calcular la distancia entre tarso1 y varilla1

distancia_tarso_varilla = np.abs(y_tarso1 - y_varilla1)

# Calcular métricas

distancia_promedio = np.mean(distancia_tarso_varilla)

distancia_max = np.max(distancia_tarso_varilla)

distancia_min = np.min(distancia_tarso_varilla)

# Graficar la distancia a lo largo del tiempo

plt.figure(figsize=(12, 6)) # Tamaño del lienzo ajustado

plt.plot(distancia_tarso_varilla, marker='o', markersize=4, markerfacecolor='blue',
markeredgecolor='black', linestyle='-', linewidth=1, color='black', label='Distancia
tarso1-varilla1')
```

```
plt.axhline(distancia_promedio, color='r', linestyle='--', label=f'Promedio:
{distancia_promedio:.2f}')

plt.axhline(distancia_max, color='g', linestyle='-.', label=f'Máx:
{distancia_max:.2f}')

plt.axhline(distancia_min, color='y', linestyle='-.', label=f'Mín: {distancia_min:.2f}')

plt.xlabel("Frames")

plt.ylabel("Distancia (px)")

plt.title("8.4A - Distancia entre Tarso 1 y Varilla 1 antes del viento")

plt.legend()

plt.show()

# Imprimir los resultados

print(f"Distancia Promedio (X.XA): {distancia_promedio:.2f} px")

print(f"Distancia Máxima (X.XA): {distancia_max:.2f} px")

print(f"Distancia Mínima (X.XA): {distancia_min:.2f} px")
```

**Código 2:** Generación de los promedios de distancia entre tarso 1 y varilla 1 durante el viento

```
import pandas as pd

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

# Ruta del archivo H5 (para después del viento en X.XD)

ruta_archivo_despues_X_XD = r"C:\\Users\\tiare\\Desktop\\palotes_final-tiare-2025-03-03\\labeled-data\\X.XD\\CollectedData_tiare.h5"

# Cargar el archivo H5

df_despues_X_XD = pd.read_hdf(ruta_archivo_despues_X_XD)

# Extraer coordenadas Y de tarso1 y varilla1

y_tarso1_despues_X_XD = df_despues_X_XD.loc[:, ("tiare", "tarso1", "y")].values

y_varilla1_despues_X_XD = df_despues_X_XD.loc[:, ("tiare", "varilla1", "y")].values

# Calcular la distancia entre tarso1 y varilla1 después del viento

distancia_tarso_varilla_despues_X_XD = np.abs(y_tarso1_despues_X_XD - y_varilla1_despues_X_XD)

# Identificar frames donde la distancia supera el rango antes del viento

exceden_rango_X_XD = (distancia_tarso_varilla_despues_X_XD > distancia_max) | (distancia_tarso_varilla_despues_X_XD < distancia_min)

# Contar cuántos frames superan el rango

num_exceden_X_XD = np.sum(exceden_rango_X_XD)

# Calcular la diferencia entre los puntos fuera del rango y el promedio antes del viento
```

```

diferencias_X_XD =
np.abs(distancia_tarso_varilla_despues_X_XD[exceden_rango_X_XD] -
distancia_promedio)

# Calcular el promedio de esas diferencias

promedio_diferencias_X_XD = np.mean(diferencias_X_XD)

# Crear una tabla con los títulos corregidos

tabla_diferencias_X_XD = pd.DataFrame({

    "Frame": np.where(exceden_rango_X_XD)[0],

    "Distancia varilla y tarso DV":
distancia_tarso_varilla_despues_X_XD[exceden_rango_X_XD],

    "Diferencia entre la distancia DV con el promedio AV": diferencias_X_XD})

# Guardar la tabla en un archivo Excel

ruta_salida_excel_X_XD =
r"C:\\Users\\tiare\\Desktop\\diferencias_despues_viento_X.XD.xlsx"

tabla_diferencias_X_XD.to_excel(ruta_salida_excel_X_XD, index=False)

# Graficar la distancia a lo largo del tiempo

plt.figure(figsize=(10, 5))

plt.plot(distancia_tarso_varilla_despues_X_XD, marker='o', linestyle='-',
color='black', linewidth=1, label='Distancia tarso1-varilla1')

# Puntos dentro del rango (celestes)

plt.scatter(np.where(~exceden_rango_X_XD)[0],
distancia_tarso_varilla_despues_X_XD[~exceden_rango_X_XD],

color='lightblue', edgecolors='black', s=30, linewidth=0.8, label='Dentro del rango')

# Puntos fuera del rango (rojos)

```

```

plt.scatter(np.where(exceden_rango_X_XD)[0],
distancia_tarso_varilla_despues_X_XD[exceden_rango_X_XD],
color='red', edgecolors='black', s=30, linewidth=0.8, label='Fuera del rango',
zorder=3)

# Líneas de referencia

plt.axhline(distancia_max, color='g', linestyle='-.', label=f'Máx antes viento:
{distancia_max:.2f}')

plt.axhline(distancia_min, color='y', linestyle='-.', label=f'Mín antes viento:
{distancia_min:.2f}')

plt.axhline(distancia_promedio, color='r', linestyle='--', label=f'Promedio antes
viento: {distancia_promedio:.2f}')

plt.xlabel("Frames")

plt.ylabel("Distancia (px)")

plt.title("X.XD - Distancia entre Tarso 1 y Varilla 1 durante el viento")

plt.legend()

plt.grid()

plt.show()

# Imprimir resultados

print(f"Número de frames que superan el rango antes del viento (8.4D):
{num_exceden_X_XD}")

print("\nTabla de diferencias con el promedio antes del viento (8.4D):")

print(tabla_diferencias_X_XD)

print(f"\nTabla exportada a: {ruta_salida_excel_X_XD}")

print(f"\nPromedio de diferencias: {promedio_diferencias_X_XD:.2f} px")

```



### Código 3: Transformada de Fourier

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

from scipy.fftpack import fft, fftfreq

# Supongamos que ya tienes tus datos en estas variables

fps = 4 # Frecuencia de muestreo

n_antes = len(distancia_antes)

n_despues = len(distancia_despues)

# Restar la media para eliminar el componente DC

distancia_antes_sin_dc=distancia_antes-np.mean(distancia_antes)
distancia_despues_sin_dc = distancia_despues - np.mean(distancia_despues)

# Aplicar ventana de Hann ventana_antes = np.hanning(n_antes)

ventana_despues = np.hanning(n_despues)

# FFT con ventana de Hann

fft_antes = fft(distancia_antes_sin_dc * ventana_antes)

fft_despues = fft(distancia_despues_sin_dc * ventana_despues)

# Obtener frecuencias

frecuencias_antes = fftfreq(n_antes, d=1/fps)

frecuencias_despues = fftfreq(n_despues, d=1/fps)

# Calcular la magnitud de la FFT

magnitud_antes = np.abs(fft_antes)

magnitud_despues = np.abs(fft_despues)

# Omitir la frecuencia 0 (componente DC) para evitar sesgos
```

```

frecuencias_antes_pos = frecuencias_antes[1:n_antes//2]

magnitud_antes_pos = magnitud_antes[1:n_antes//2]

frecuencias_despues_pos=frecuencias_despues[1:n_despues//2]
magnitud_despues_pos = magnitud_despues[1:n_despues//2]

# Calcular frecuencia promedio ponderada

frecuencia_promedio_antes = np.sum(frecuencias_antes_pos * magnitud_antes_pos)
/ np.sum(magnitud_antes_pos)

frecuencia_promedio_despues=np.sum(frecuencias_despues_pos *
magnitud_despues_pos) / np.sum(magnitud_despues_pos)

# Mostrar los resultados

print(f"Frecuencia promedio antes del viento:

{ frecuencia_promedio_antes:.4f} Hz")

print(f"Frecuencia promedio después del viento: { frecuencia_promedio_despues:.4f}
Hz")

plt.plot(frecuencias_antes_pos,magnitud_antes_pos, linestyle='dashed', label='Antes
del viento')

plt.plot(frecuencias_despues_pos,magnitud_despues_pos,label='Después del viento')
plt.xlabel("Frecuencia (Hz)")

plt.ylabel("Magnitud")

plt.title("2.1 - Análisis de la frecuencia de las medidas (con VDH)")

plt.legend()

plt.show()

```

#### **Código 4:** Prueba Shapiro-wilk

```

From scipy.stats import shapiro

```

```

# Datos de frecuencia de medidas (28 datos)

frecuencia_mecidas_28 = [0.4064, 0.4407, 0.7091, 0.7700, 0.3561, 0.6341, 0.7624,
0.5445, 0.8785, 0.7615, 0.9721, 0.3959, 0.4893, 0.7279, 0.9395, 0.3548, 0.7636,
0.6360, 0.5368, 0.8775, 0.9, 0.9689, 0.4678, 0.9337, 0.9589, 0.3469, 0.7466, 0.742]

# Datos de velocidad del viento (28 datos)

velocidad_viento_28 = [0.8875, 1.1365, 1.6071, 1.853, 0.625, 2.0077, 2.3925, 0.98,
1.5021, 1.4428, 3.588, 0, 1.3723, 1.8277, 1.8659, 0.6583, 2.2113, 1.9672, 1.085,
1.9911, 2.0787, 2.7897, 0.7878, 2.5906, 2.6081, 0.6517, 2.2239, 1.770]

# Aplicar la prueba de Shapiro-Wilk

estadistico_frec, p_valor_frec = shapiro(frecuencia_mecidas_28)

estadistico_viento, p_valor_viento = shapiro(velocidad_viento_28)

# Mostrar los resultados

print(f"Frecuencia - Estadístico W: {estadistico_frec}, p-valor: {p_valor_frec}")

print(f"Viento - Estadístico W: {estadistico_viento}, p-valor: {p_valor_viento}")

Frecuencia - Estadístico W: 0.918546560074773, p-valor: 0.03193703962825281
Viento - Estadístico W: 0.9848086845863168, p-valor: 0.945685247546092

```

### Código 5: Prueba estadística Wilcoxon

```
from scipy.stats import wilcoxon

# Datos de frecuencia de medicas y velocidad del viento (28 datos)

frecuencia_mecidas_28 = [0.4064, 0.4407, 0.7091, 0.7700, 0.3561, 0.6341, 0.7624,
0.5445, 0.8785, 0.7615, 0.9721, 0.3959, 0.4893, 0.7279, 0.9395, 0.3548, 0.7636,
0.6360, 0.5368, 0.8775, 0.9, 0.9689, 0.4678, 0.9337, 0.9589, 0.3469, 0.7466, 0.7428]

velocidad_viento_28 = [0.8875, 1.1365, 1.6071, 1.853, 0.625, 2.0077, 2.3925, 0.98,
1.5021, 1.4428, 3.588, 0, 1.3723, 1.8277, 1.8659, 0.6583, 2.2113, 1.9672, 1.085,
1.9911, 2.0787, 2.7897, 0.7878, 2.5906, 2.6081, 0.6517, 2.2239, 1.7709]

# Realizar la prueba de Wilcoxon

estadistico, p_valor = wilcoxon(frecuencia_mecidas_28, velocidad_viento_28)

# Mostrar los resultados

print(f"Estadístico de Wilcoxon: {estadistico}")

print(f"p-valor: {p_valor}")

Estadístico de Wilcoxon: 5.0 p-valor: 7.450580596923828e-08
```

### Anexo 3: Replicaciones experimentales.

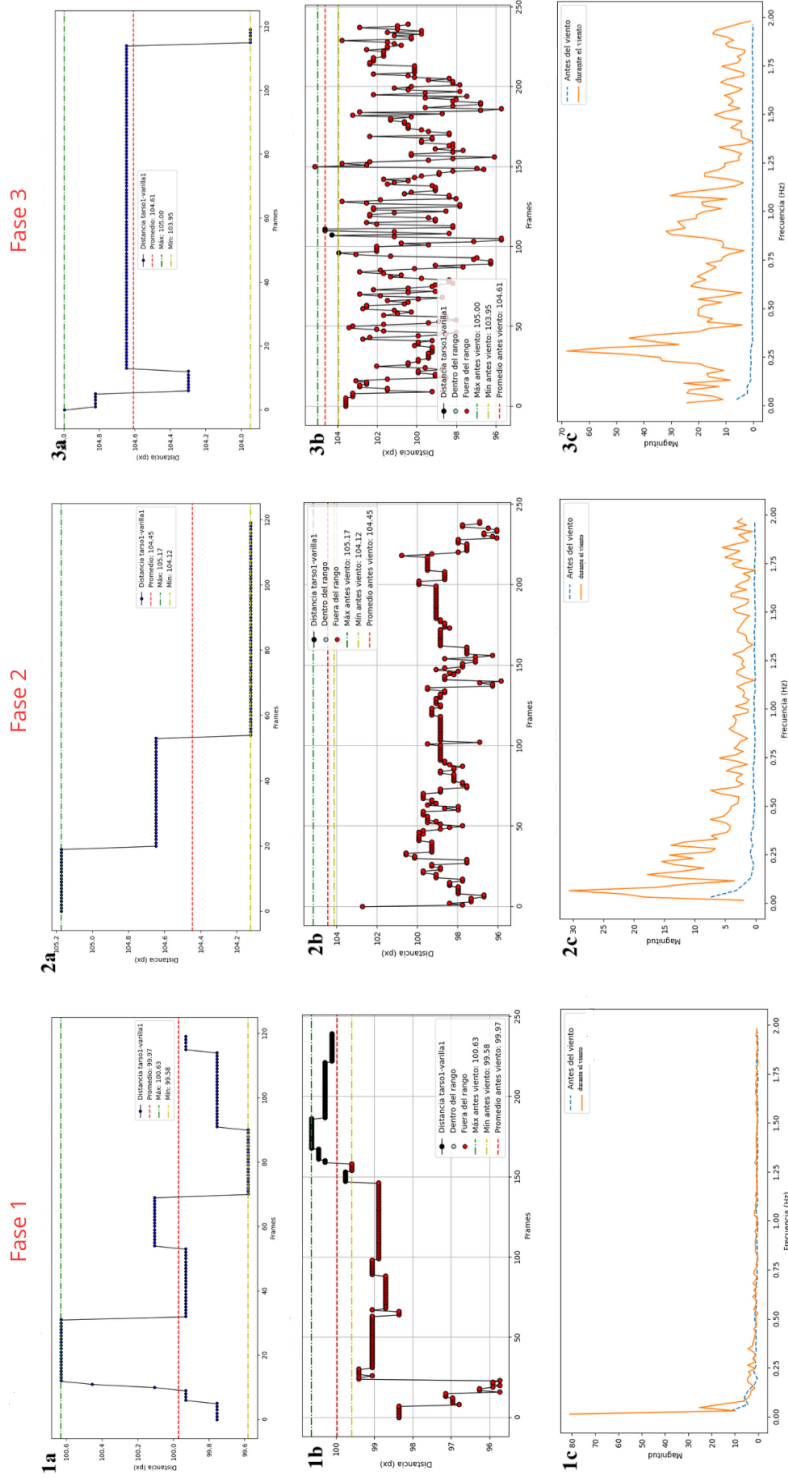
#### Replicación experimental 2

La replicación experimental presenta observaciones. La fase 2.4 no es apta para ser utilizada en los resultados.

	Promedio distancia (px) tarso1 - Varilla1	Velocidad viento promedio (m/s)	rango [min - máx] velocidad viento	observaciones
2.1A	99,97	0	0	Sin observaciones
2.1D	99,25	0,625	0,1-1,3	Sin observaciones
2.2A	104,44	0	0	Sin observaciones
2.2D	98,64	2,0077	1,2-2,9	Sin observaciones
2.3A	104,61	0	0	Sin observaciones
2.3D	100,34	2,3925	0,5-3,3	Sin observaciones
2.4A	103,42	0	0	Sin observaciones
2.4D	93,88	3,4437	1,1-4,5	El individuo abandona su posición en el segundo 20 del experimento, por lo que se considera como <b>NO APTO</b>

Figura 21. Replicación experimental 2 de toma de datos.

## Replicación experimental 2



**Figura 22. Replicación experimental 2 y sus fases.** Distancia tarso-varilla durante la fase 1 antes del estímulo del viento (1a), distancia entre el tarso-varilla durante el estímulo del viento (1b), y cambios en la magnitud de las oscilaciones del insecto durante los frames extraídos para antes y durante el viento (1c). Esto se repite para la fase 2 (2a-2c), para la fase 3 (3a-3c) y para la fase 4 (4a-4c) completando así los gráficos de la replicación experimental 1.

	Fase 2.1	Fase 2.2	Fase 2.3	Fase 2.4
Promedio frecuencia (hz)	0,3561	0,6341	0,7624	
Velocidad viento (m/s)	0,625	2,0077	2,3955	

Figura 23. Comparación promedio/velocidad del modelo 2.

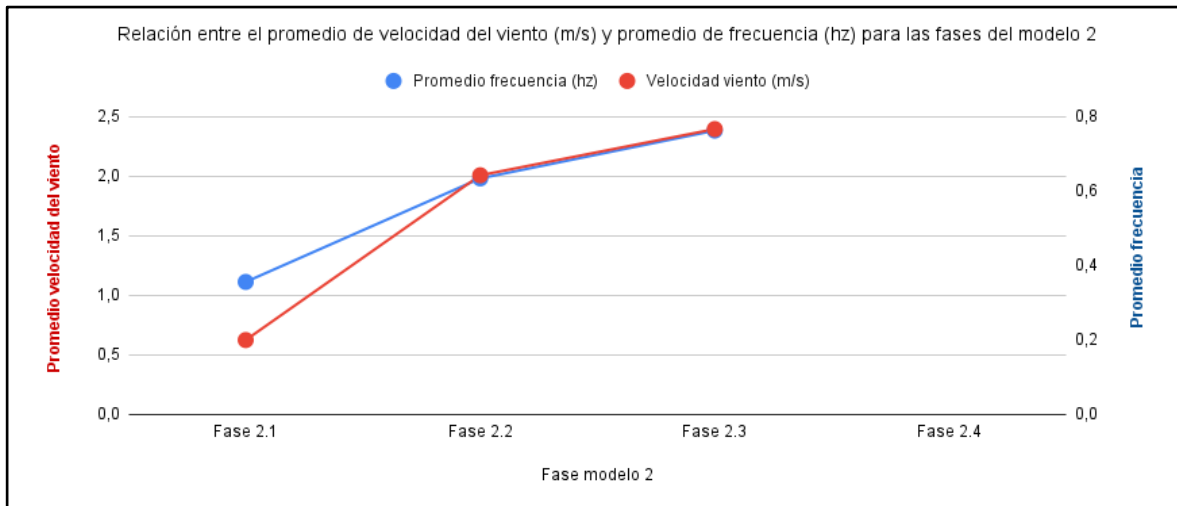


Gráfico 4. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias para la replicación experimental 2.

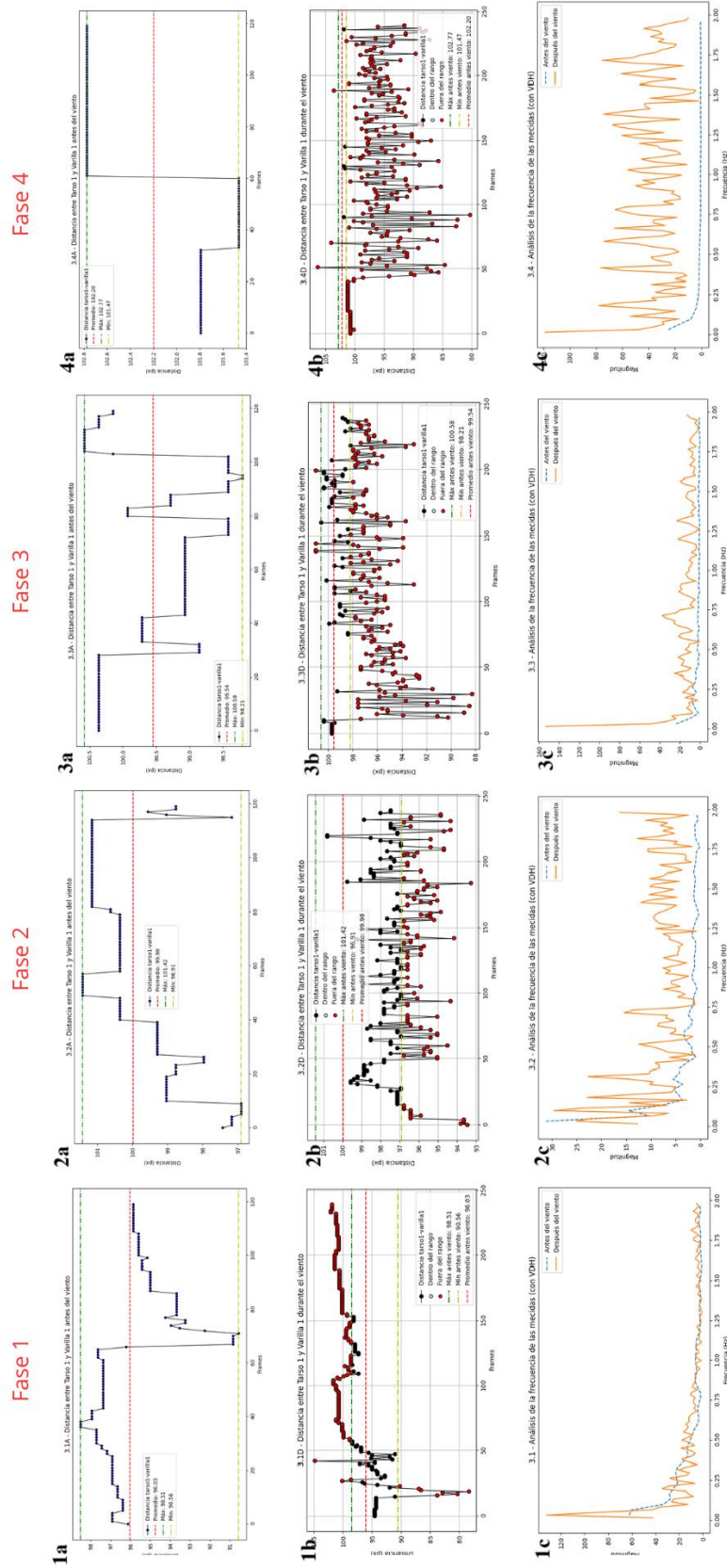
### Replicación experimental 3

La replicación experimental tiene observaciones. Tener en cuenta que, según lo anotado, la fase 2.2 presenta una mayor velocidad promedio del viento que la fase 2.3, por lo que a su vez también debe presentar una mayor frecuencia de oscilación.

	Promedio distancia (px) tarso1 - Varilla1	Velocidad viento promedio (m/s)	rango [min - máx] velocidad viento	observaciones
3.1A	96,03	0	0	Sin observaciones
3.1D	98,7	0,98	0,1-1,3	Sin observaciones
3.2A	99,98	0	0	El promedio de velocidad del viento es mayor en 3.2 que en 3.3. Tener en consideración
3.2D	96,91	1,5021	0,1-2,5	
3.3A	99,5400	0	0	
3.3D	96,8900	1,4428	0,1-2,7	
3.4A	102,19	0	0	Sin observaciones
3.4D	95,92	3,588	2,0-4,8	Sin observaciones

Figura 24. Comparación promedio/velocidad del modelo 3.

## Replicación experimental 3



**Figura 25. Replicación experimental 3 y sus fases.** Distancia tarso-varilla durante la fase 1 antes del estímulo del viento (1a), distancia entre el tarso-varilla durante el estímulo del viento (1b), y cambios en la magnitud de las oscilaciones del insecto durante los frames extraídos para antes y durante el viento (1c). Esto se repite para la fase 2 (2a-2c), para la fase 3 (3a-3c) y para la fase 4 (4a-4c) completando así los gráficos de la replicación experimental 1.

	Fase 3.1	Fase 3.2	Fase 3.3	Fase 3.4
<b>Promedio frecuencia (hz)</b>	0,5445	0,8785	0,7615	0,9721
<b>Velocidad viento (m/s)</b>	0,98	1,6021	1,4428	3,588

Figura 26. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 3.

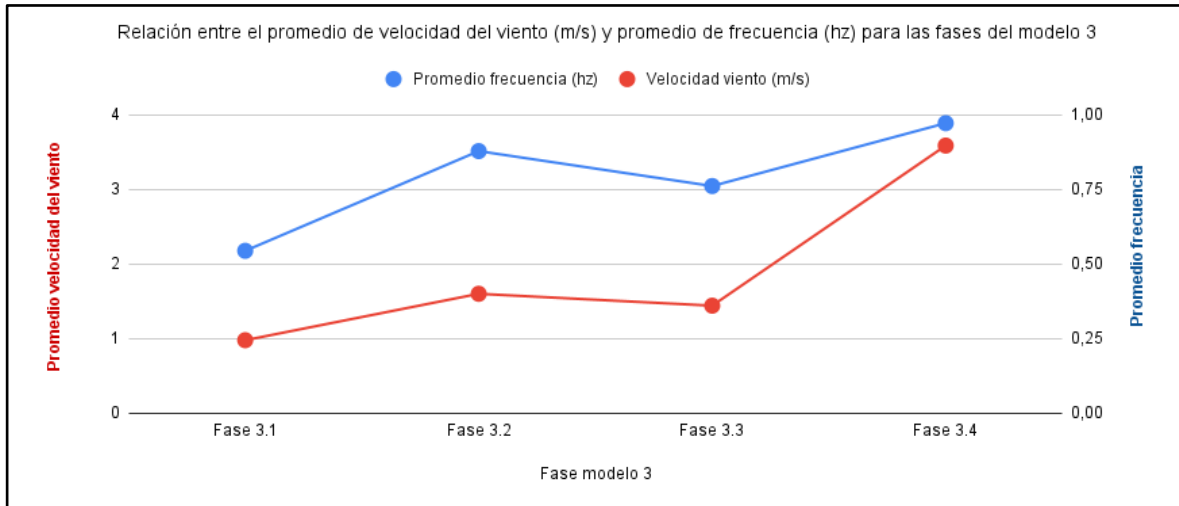


Gráfico 5. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 3.

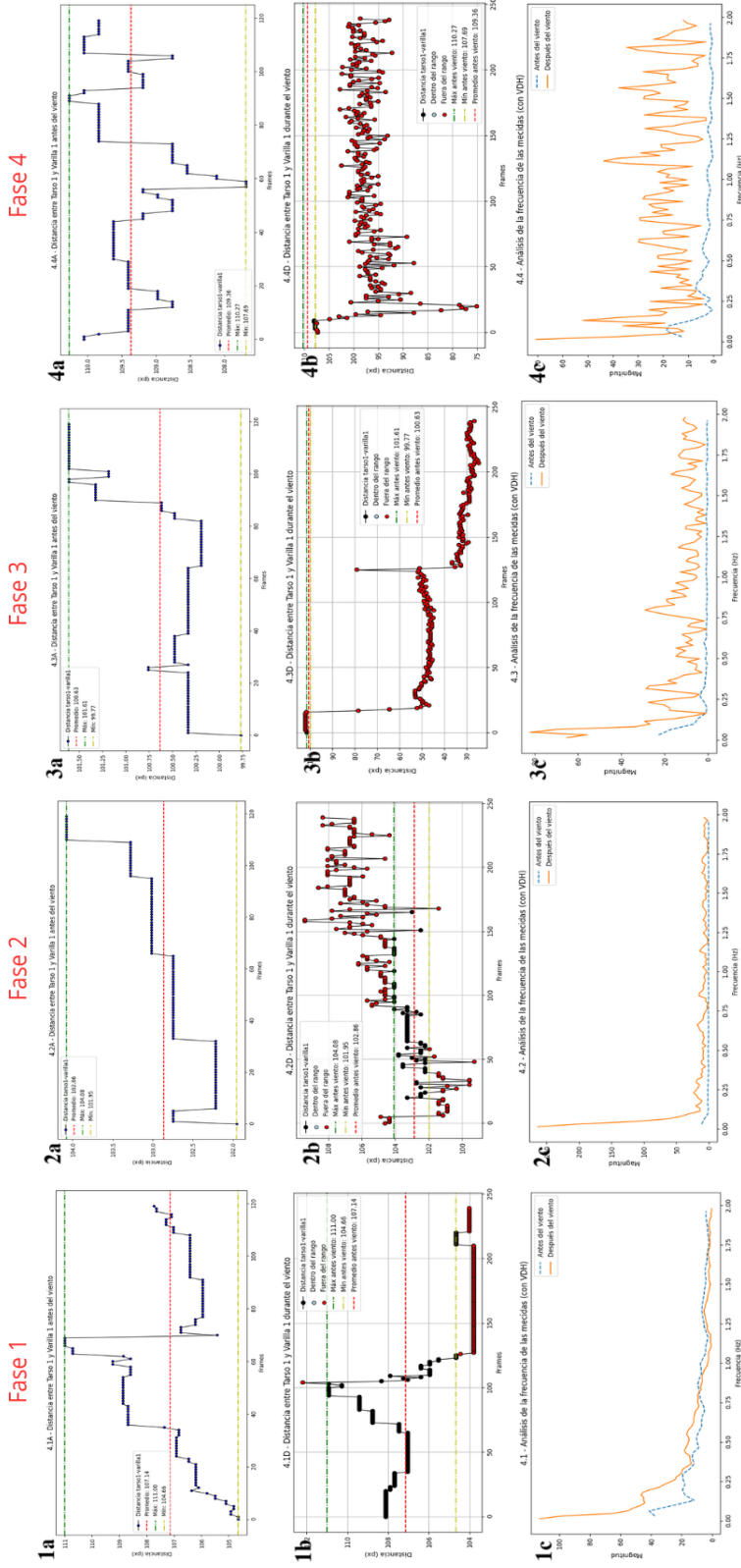
#### Replicación experimental 4

Replicación que, a pesar de tener observaciones, puede utilizarse para los resultados individuales más no para el promedio general.

	Promedio distancia (px) tarso1 - Varilla1	Velocidad viento promedio (m/s)	rango [min - máx] velocidad viento	observaciones
4.1A	107,14	0	0	No hubo detección de viento. No afecta resultados
4.1D	105,98	0	0	Sin observaciones
4.2A	102,86	0	0	Sin observaciones
4.2D	104,61	1,3723	0,2-2,7	Sin observaciones
4.3A	100,6300	0	0	Sin observaciones
4.3D	43,88	1,8277	0,3-2,9	Sin observaciones
4.4A	109,36	0	0	Sin observaciones
4.4D	97,42	1,8659	0,1-3,6	Sin observaciones

Figura 27. Replicación experimental 4 de toma de datos

## Replicación experimental 4



**Figura 28. Replicación experimental 4 y sus fases.** Distancia tarso-varilla durante la fase 1 antes del estímulo del viento (1a), distancia entre el tarso-varilla durante el estímulo del viento (1b), y cambios en la magnitud de las oscilaciones del insecto durante los frames extraídos para antes y durante el viento (1c). Esto se repite para la fase 2 (2a-2c), para la fase 3 (3a-3c) y para la fase 4 (4a-4c) completando así los gráficos de la replicación experimental.

	Fase 4.1	Fase 4.2	Fase 4.3	Fase 4.4
Promedio frecuencia (hz)	0,3959	0,4893	0,7279	0,9395
Velocidad viento (m/s)	0	1,3723	1,8277	1,8659

Figura 29. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 4.

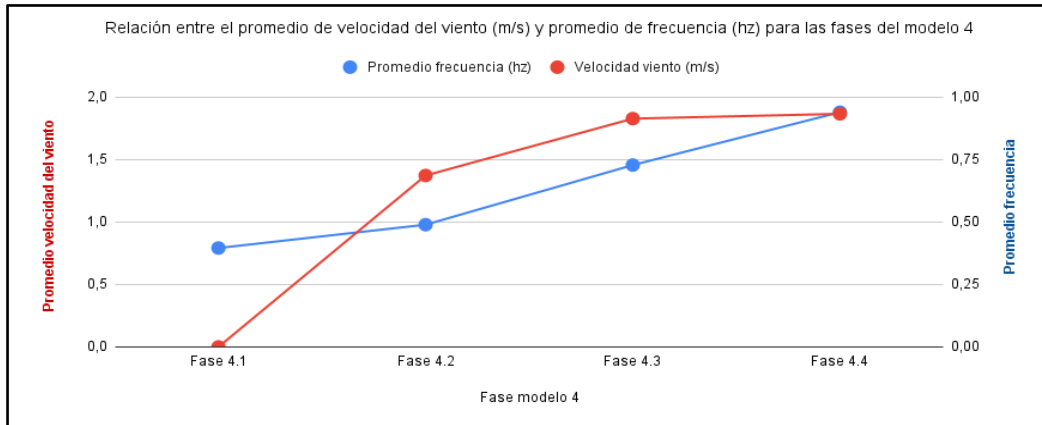


Gráfico 6. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 4.

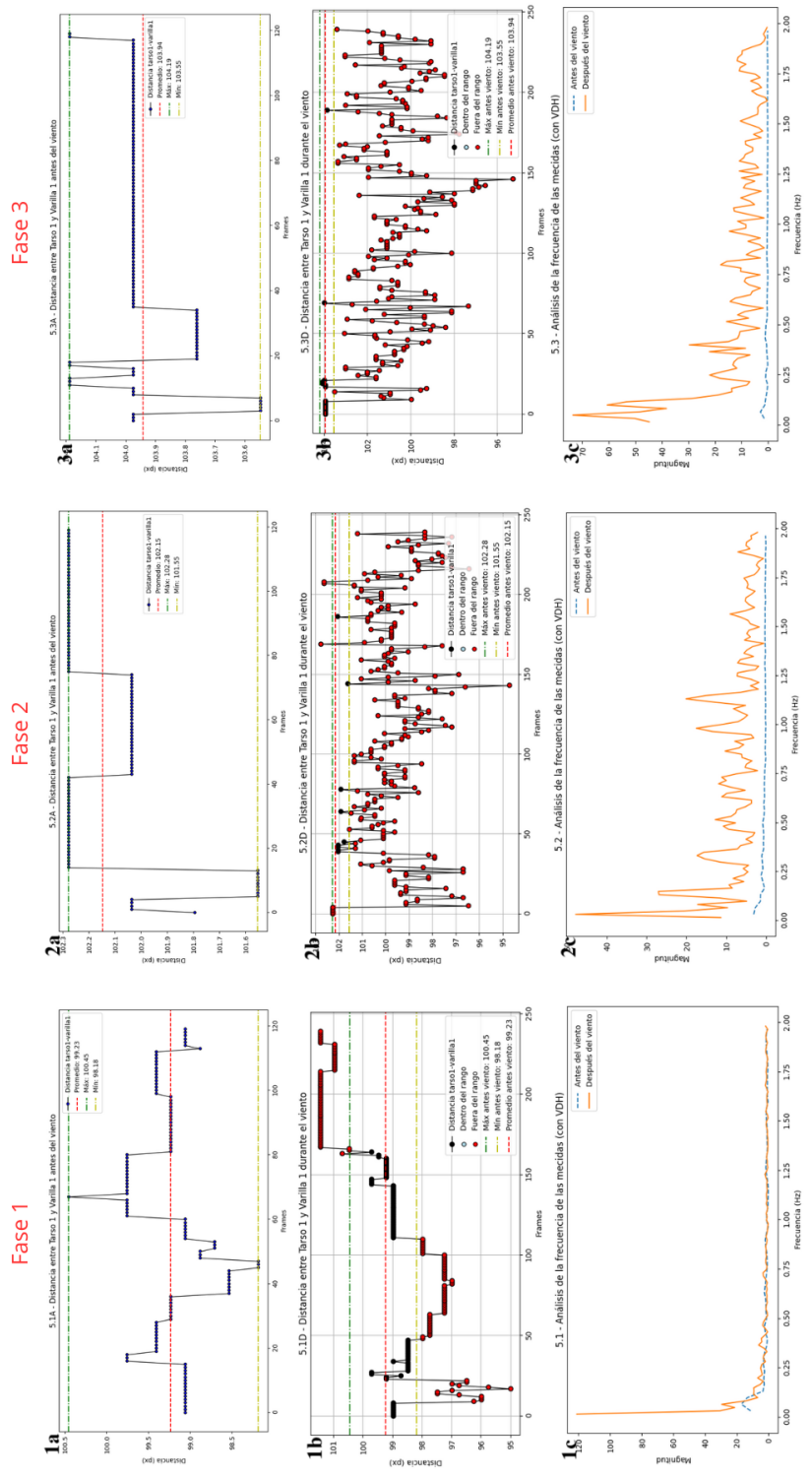
### Replicación experimental 5

La replicación presenta observaciones. Tener en cuenta que, según lo anotado, la fase 5.2 presenta una mayor velocidad promedio del viento que la fase 5.3, por lo que a su vez también debe presentar una mayor frecuencia de oscilación. A su vez, debido a no contar con la cantidad requerida de frames, la fase 5.4 no es apta para ser utilizada en los resultados.

Modelo 5	Promedio distancia (px) tarso1 - Varilla1	Velocidad viento promedio (m/s)	rango [min - máx] velocidad viento	observaciones
5.1A	99,23	0	0	Sin observaciones
5.1D	99,17	0,6583	0,1-1,3	Sin observaciones
5.2A	102,14	0	0	El promedio de velocidad del viento es mayor en 5.2 que en 5.3. Tener en consideración
5.2D	99,68	2,2113	1,2-2,9	
5.3A	103,9400	0	0	
5.3D	100,82	1,9672	0,2-3,3	Sin observaciones
5.4A	100,61	0	0	
5.4D	94,52	3,4187	1,1-4,5	El individuo abandona su posición en el segundo 20 del experimento, por lo que se considera como <b>NO APTO</b>

Figura 30. Replicación experimental 5 de toma de datos.

## Replicación experimental 5



**Figura 31. Replicación experimental 5 y sus fases.** Distancia tarso-varilla durante la fase 1 antes del estímulo del viento (1a), distancia entre el tarso-varilla durante el estímulo del viento (1b), y cambios en la magnitud de las oscilaciones del insecto durante los frames extraídos para antes y durante el viento (1c). Esto se repite para la fase 2 (2a-2c), para la fase 3 (3a-3c) y para la fase 4 (4a-4c) completando así los gráficos de la replicación experimental.

	Fase 5.1	Fase 5.2	Fase 5.3	Fase 5.4
<b>Promedio frecuencia (hz)</b>	0,3548	0,7636	0,636	
<b>Velocidad viento (m/s)</b>	0,6583	2,2113	1,9672	

Figura 32. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 5.

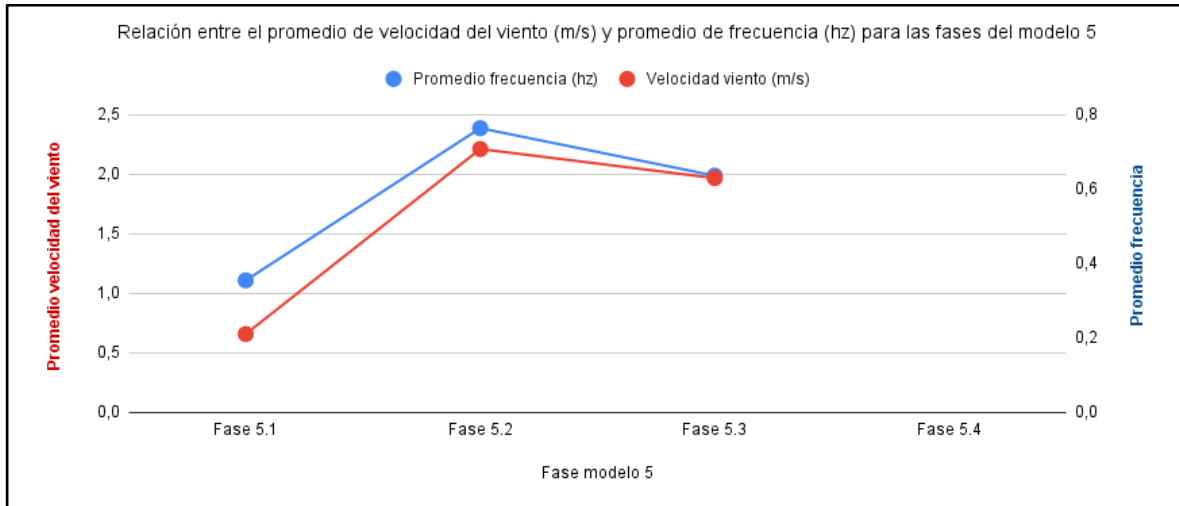


Gráfico 7. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 5.

## Replicación experimental 6

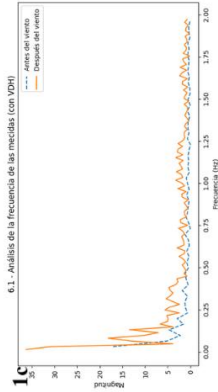
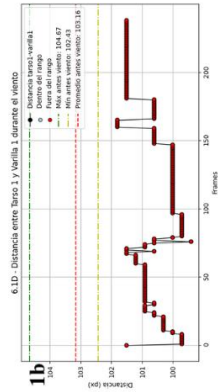
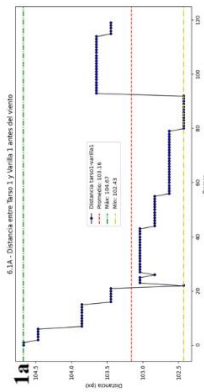
Replicación sin observaciones.

Modelo 6	Promedio distancia (px) tarso1 - Varilla1	Velocidad viento promedio (m/s)	rango [min - máx] velocidad viento	observaciones
6.1A	103,16	0	0	Sin observaciones
6.1D	100,69	1,085	0,2-1,3	Sin observaciones
6.2A	105,92	0	0	Sin observaciones
6.2D	99,32	1,9911	0,2-3,4	Sin observaciones
6.3A	106,9200	0	0	Sin observaciones
6.3D	94,69	2,0787	0,9-3,4	Sin observaciones
6.4A	103,07	0	0	Sin observaciones
6.4D	83,89	2,7897	0,7-4,4	Sin observaciones

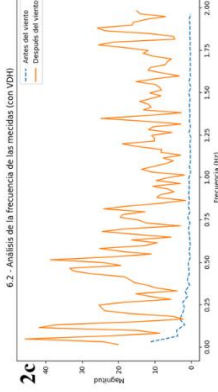
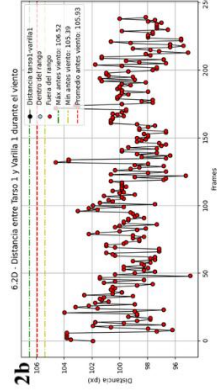
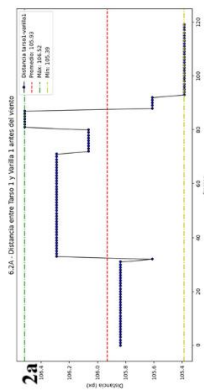
Figura 33. Replicación experimental 6 de toma de datos.

## Replicación experimental 6

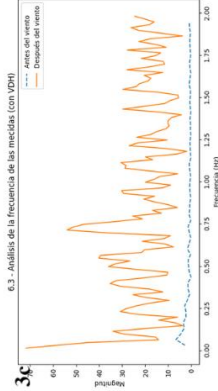
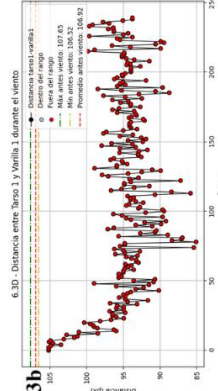
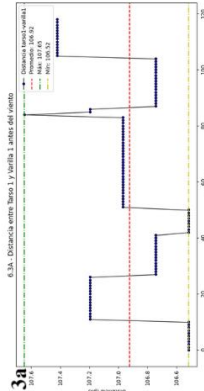
### Fase 1



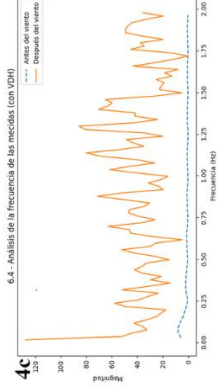
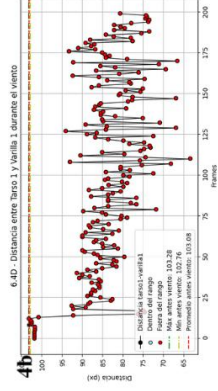
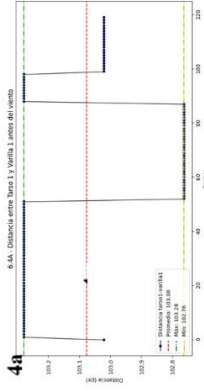
### Fase 2



### Fase 3



### Fase 4



**Figura 34. Replicación experimental 6 y sus fases.** Distancia tarso-varilla durante la fase 1 antes del estímulo del viento (1a), distancia entre el tarso-varilla durante el estímulo del viento (1b), y cambios en la magnitud de las oscilaciones del insecto durante los frames extraídos para antes y durante el viento (1c). Esto se repite para la fase 2 (2a-2c), para la fase 3 (3a-3c) y para la fase 4 (4a-4c) completando así los gráficos de la replicación experimental.

	Fase 6.1	Fase 6.2	Fase 6.3	Fase 6.4
Promedio frecuencia (hz)	0,5308	0,8775	0,9	0,9689
Velocidad viento (m/s)	1,085	1,9911	2,0787	2,7897

Figura 35. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 6.

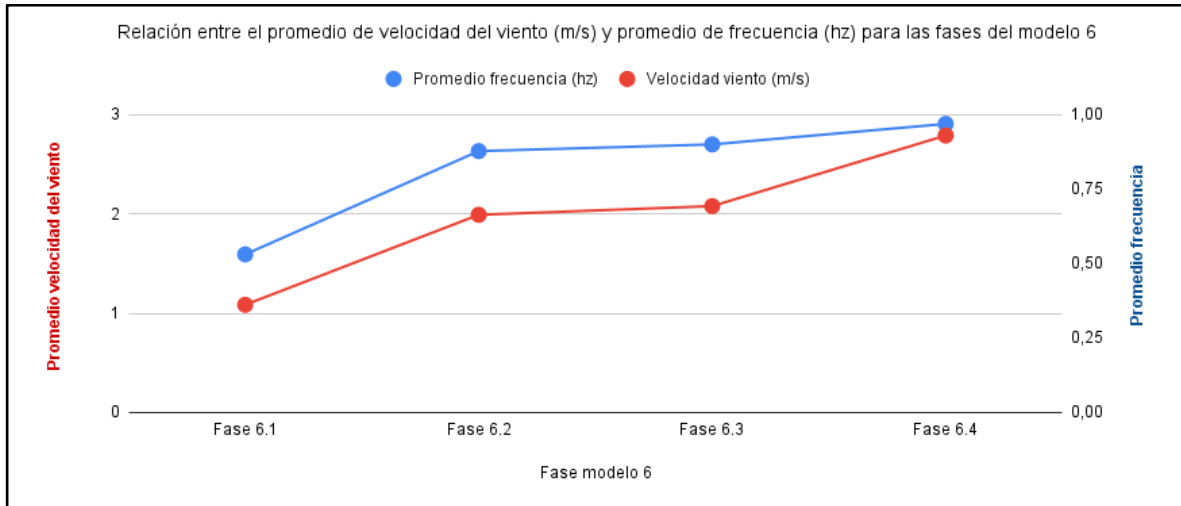


Gráfico 8. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 6.

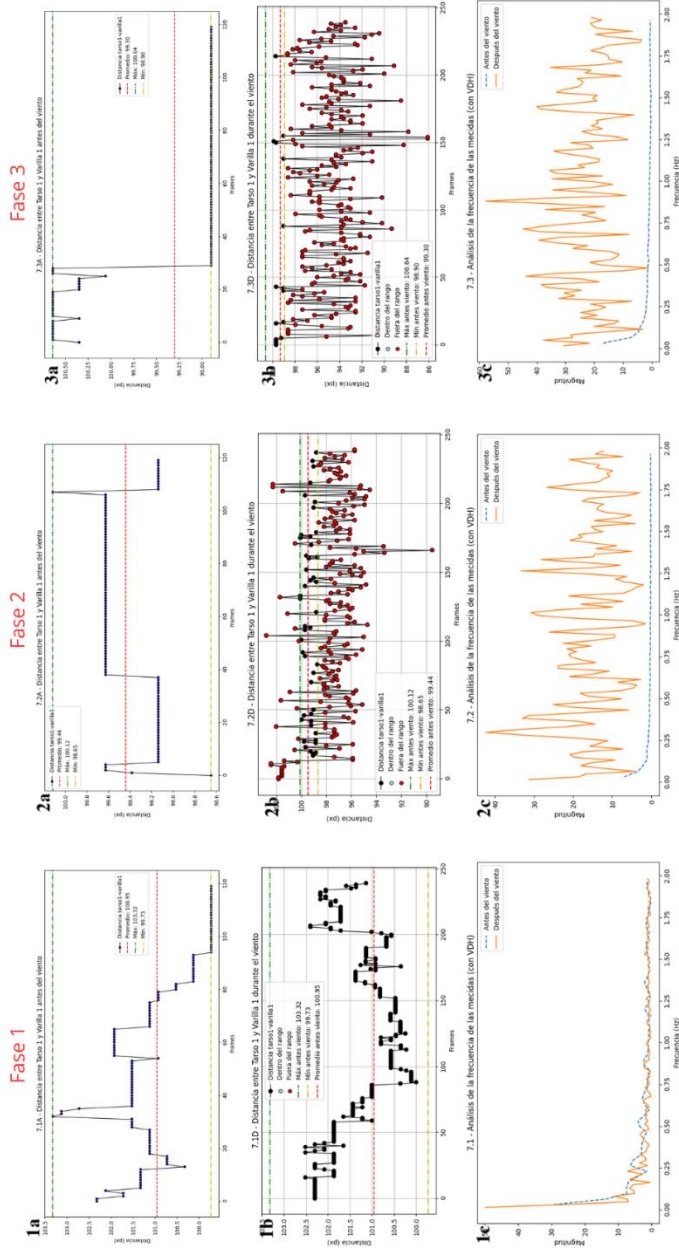
### Replicación experimental 7

Replicación con observaciones. Considerar que debido a no contar con el número de frames requeridos, la fase 7.4 no es apta para considerarse en los resultados.

Modelo 7	Promedio distancia (px) tarso1 - Varilla1	Velocidad viento promedio (m/s)	rango [min - máx] velocidad viento	observaciones
7.1A	100,95	0	0	Sin observaciones
7.1D	101,26	0,7878	0,1-1,3	Sin observaciones
7.2A	99,43	0	0	Sin observaciones
7.2D	97,86	2,5906	0,1-3,3	Sin observaciones
7.3A	99,3000	0	0	Sin observaciones
7.3D	94,9	2,6081	0,7-3,4	Sin observaciones
7.4A	101,07	0	0	Sin observaciones
7.4D	NAN	3,334	2,0-4,6	El individuo abandona su posición en el segundo 18 del experimento, por lo que se considera como <b>NO APTO</b>

Figura 36. Replicación experimental 7 de toma de datos.

## Replicación experimental 7



**Figura 37. Replicación experimental 7 y sus fases.** Distancia tarso-varilla durante la fase 1 antes del estímulo del viento (1a), distancia entre el tarso-varilla durante el estímulo del viento (1b), y cambios en la magnitud de las oscilaciones del insecto durante los frames extraídos para antes y durante el viento (1c). Esto se repite para la fase 2 (2a-2c), para la fase 3 (3a-3c) y para la fase 4 (4a-4c) completando así los gráficos de la replicación experimental.

	Fase 7.1	Fase 7.2	Fase 7.3	Fase 7.4
Promedio frecuencia (hz)	0,4678	0,9337	0,9589	
Velocidad viento (m/s)	0,7878	2,5906	2,6081	

Figura 38.Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 7.

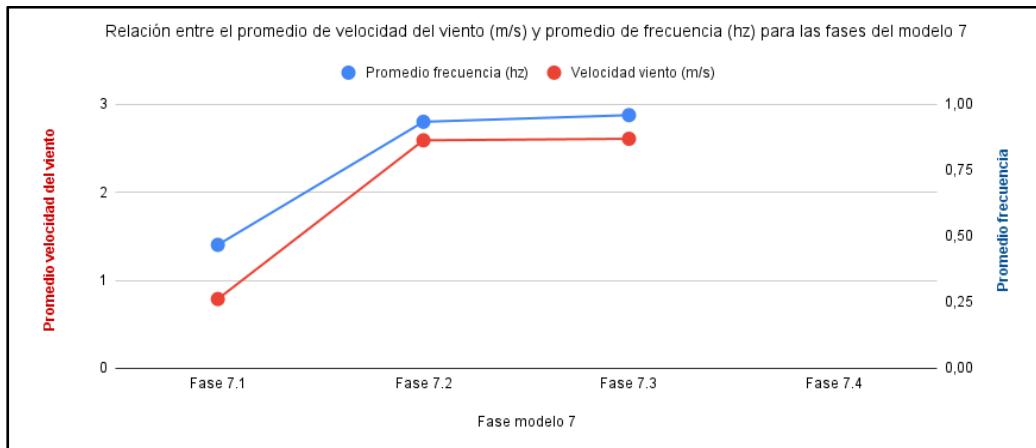


Gráfico 9.Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 7.

## Replicación experimental 8

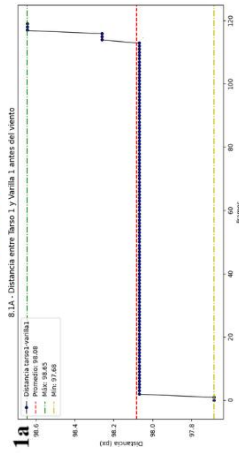
Replicación que presenta observaciones. Tener en cuenta que, según lo anotado, la fase 8.2 presenta una mayor velocidad promedio del viento que la fase 8.3, por lo que a su vez también debe presentar una mayor frecuencia de oscilación. A su vez, debido a no contar con la cantidad requerida de frames, la fase 8.4 no es apta para ser utilizada en los resultados.

Modelo 8	Promedio distancia (px) tarso1 - Varilla1	Velocidad viento promedio (m/s)	rango [min - máx] velocidad viento	observaciones
8.1A	98,08	0	0	Sin observaciones
8.1D	98,75	0,6517	0,1-1,3	Sin observaciones
8.2A	103,69	0	0	El promedio de velocidad del viento es mayor en 8.2 que en 8.3. Tener en consideración
8.2D	98,79	2,2239	1,2-2,9	
8.3A	103,9200	0	0	
8.3D	99,89	1,7709	0,2-3,3	
8.4A	102,18	0	0	Sin observaciones
8.4D	93,25	3,4687	1,1-4,5	El individuo abandona su posición en el segundo 22 del experimento, por lo que se considera como <b>NO APTO</b>

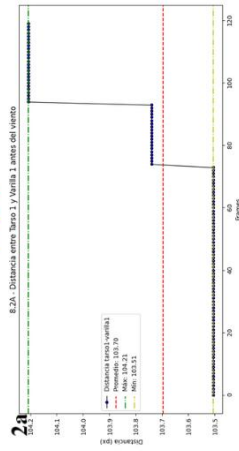
Figura 39. Replicación experimental 8 de toma de datos.

## Replicación experimental 8

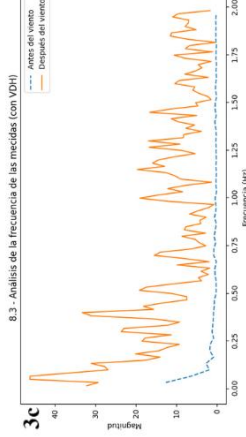
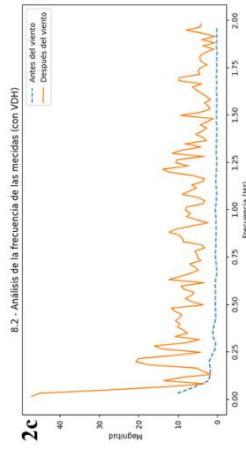
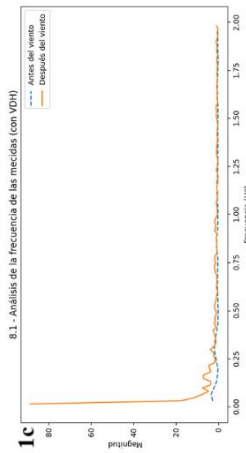
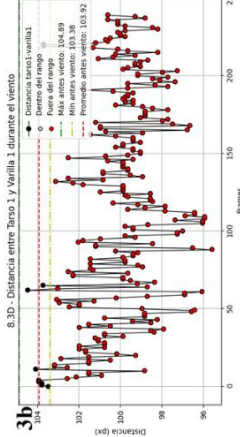
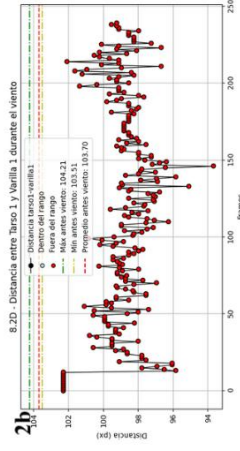
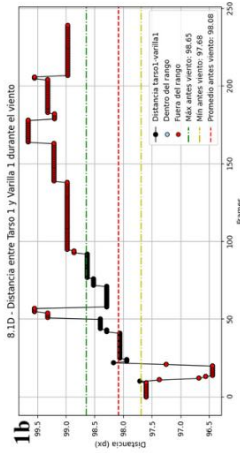
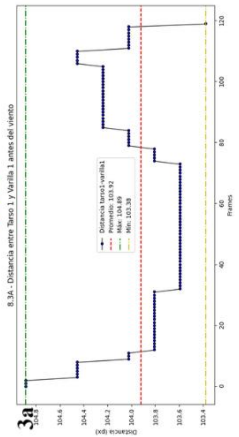
### Fase 1



### Fase 2



### Fase 3



**Figura 40. Replicación experimental 8 y sus fases.** Distancia tarso-varilla durante la fase 1 antes del estímulo del viento (1a), distancia entre el tarso-varilla durante el estímulo del viento (1b), y cambios en la magnitud de las oscilaciones del insecto durante los frames extraídos para antes y durante el viento (1c). Esto se repite para la fase 2 (2a-2c), para la fase 3 (3a-3c) y para la fase 4 (4a-4c) completando así los gráficos de la replicación experimental.

	Fase 8.1	Fase 8.2	Fase 8.3	Fase 8.4
Promedio frecuencia (hz)	0,3469	0,7566	0,7428	
Velocidad viento (m/s)	0,6517	2,2239	1,7709	

Figura 41. Comparación promedio/velocidad de la replicación experimental 8.

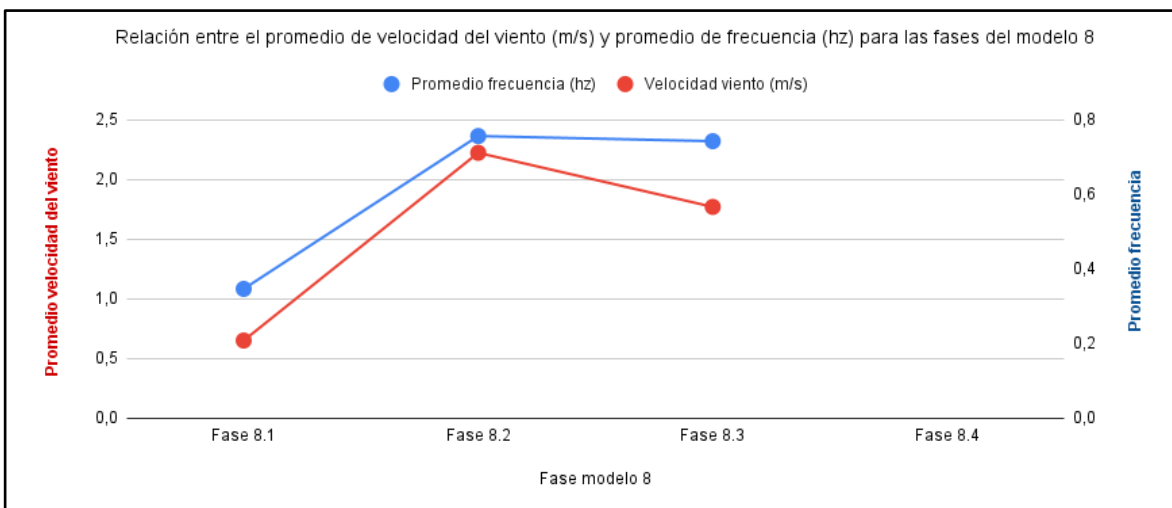


Gráfico 10. Relación entre promedio de velocidad del viento y promedio de frecuencias de la replicación experimental 8.