



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS

BIOLOGÍA

**INTERACCIONES PLANTA-INSECTO EN LA ESTEPA
PATAGÓNICA: PREFERENCIAS POR ESPECIES DE
PLANTAS Y EFECTOS DEL CLIMA LOCAL EN EL
COMPORTAMIENTO DE LEPIDÓPTEROS DIURNOS**

POR DANIEL FELIPE GÓMEZ VALLEJOS

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Biólogo.

Dr. Alfredo Saldaña Mendoza – Profesor Guía.

Enero, 2026

Concepción, Chile.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a la Reserva Natural Pingüino Rey, valioso proyecto de conservación que me brindó el apoyo y los recursos necesarios para la realización de esta investigación. Asimismo, agradezco profundamente a todo su equipo, Sra. Cecilia, Maite, Aurora, Rodrigo, Valeria, María Paula y Jaime, no solo por su colaboración y disposición durante el trabajo en terreno, sino también por su amistad, compañía y por transformar esta experiencia en una aventura humana y profesional inolvidable.

Agradezco especialmente a mi profesor guía, Dr. Alfredo Saldaña, por su acompañamiento durante este proceso. Su confianza en mis ideas, su disposición constante y su capacidad para equilibrar apoyo y autonomía fueron fundamentales para mi desarrollo como investigador, permitiéndome fortalecer la seguridad en mis conocimientos y crecer profesionalmente con libertad y responsabilidad.

Finalmente, quiero dedicar este trabajo a las personas que han sido el pilar más profundo de mi vida. A mi mamá, Sandra, por su fortaleza, amor incondicional y confianza infinita; por alentarme siempre a enfrentar mis miedos, soñar en grande y perseverar incluso en los momentos más difíciles. Su apoyo ha sido determinante no solo para la realización de esta tesis, sino también para construir mi identidad profesional y mi amor por esta carrera.

A mi abuelita Dolores, cuyo cariño y presencia han marcado mi vida de una manera silenciosa pero profunda. A María Salomé, mi vecina y segunda abuela, quien ocupó con amor el lugar que la vida no permitió a otras personas, y cuyo sueño siempre fue verme egresar; aunque ya no esté físicamente, su recuerdo sigue acompañando cada paso que doy. Y a Soledad, una gran amiga, compañera de caminos, de sueños y de cambios; su ausencia duele, pero su memoria permanece viva, no tengo dudas de que estaría profundamente orgullosa de este logro.

A mis gatitas, compañeras de largas noches de estudio, cuyo cariño, presencia y compañía fueron un apoyo constante durante este proceso.

Finalmente, agradezco a mis amistades, quienes, desde distintos lugares y momentos, me acompañaron durante este proceso con apoyo, conversaciones, risas y contención. Su presencia hizo más llevadero el camino y fue fundamental para mantener la motivación y el equilibrio a lo largo de esta etapa.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. ÍNDICE DE FIGURAS	VII
2. ÍNDICE DE TABLAS	IX
3. RESUMEN	X
4. ABSTRACT	XIII
5. INTRODUCCIÓN	1
a. Ecología de comunidades y estructura de ensambles	1
b. Mutualismos planta-lepidóptero: polinización y refugio	2
i. Polinización	4
ii. Refugio vegetal	5
c. Ecología térmica y preferencia de hábitat	6
d. Lepidoptera: Preferencias de microhábitat en la estepa patagónica ...	9
e. Pregunta de investigación	12
6. HIPÓTESIS	13
7. OBJETIVO GENERAL	14
a. Objetivos específicos	14
8. METODOLOGÍA	16
a. Sitio de estudio	16
b. Selección de parcelas	17
c. Análisis de composición florística e identificación de especies vegetales	18

d.	Identificación de especies de lepidópteros.....	19
e.	Muestreo de interacciones planta-lepidóptero	20
f.	Análisis de ecología térmica	22
g.	Análisis de datos	22
9.	RESULTADOS.....	25
a.	Oferta vegetal disponible.....	25
b.	Ensamble de lepidópteros	27
c.	Preferencias de visitas.....	29
d.	Ecología térmica	34
e.	Influencia de variables climáticas en la frecuencia de visitas	35
10.	DISCUSIÓN.....	38
a.	Síntesis y cumplimiento del objetivo general	38
b.	Preferencias de especies de plantas y estructuras vegetales	39
c.	Influencia del clima local en la actividad y selección de microhábitats	46
11.	CONCLUSIÓN.....	51
12.	LITERATURA CITADA.....	56

1. ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Dominancia (diagrama de rango abundancia, expresada en términos porcentuales) de las especies vegetales encontradas en el ensamble de vegetación coironal en la Reserva Natural Pingüino Rey, Tierra del Fuego, Chile.....27
- Figura 2.** Abundancia relativa (%) de las distintas especies de lepidópteros encontrados en la comunidad vegetal coironal en la Reserva Natural Pingüino Rey, Tierra del Fuego, Chile.....29
- Figura 3.** Red de interacciones planta-lepidóptero en una comunidad vegetal de coironal (n = 212 registros) en Tierra del Fuego, Chile. El ancho de las barras negras indica la abundancia relativa de las especies de lepidópteros diurnos, mientras que el ancho de las barras rojas representa la frecuencia de visitas recibidas por cada especie vegetal. Próximo al nombre científico, los símbolos (N) e (I) indican especies nativas e introducidas, respectivamente.....31
- Figura 4.** Promedio de visitas (\pm SE) del gremio de lepidópteros diurnos a las especies vegetales encontradas en la RNPR. Test no paramétrico Kruskal-Wallis, χ^2 (15) = 47.3392; $p < 0,0001$32
- Figura 5.** Promedio de visitas (\pm SE) del gremio de lepidópteros diurnos a estructuras florales y vegetativas de las especies de plantas encontradas en la RNPR. Test no paramétrico U de Mann-Whitney, χ^2 (1) = 0.5211; $p > 0.05$33
- Figura 6.** Promedio de desacople térmico (\pm SE) entre la temperatura ambiental y la temperatura superficial de las especies vegetales encontradas en la RNPR. Test no paramétrico Kruskal-Wallis, χ^2 (3) = 5.8970; $p > 0.05$34
- Figura 7.** Promedio de desacople térmico (\pm SE) entre la temperatura ambiental y la temperatura superficial de estructuras florales y vegetativas de las especies de plantas encontradas en la RNPR. Test no paramétrico U de

Mann-Whitney, χ^2 (1) = 1.4122;
 p>0.05.....35

Figura 8. Correlaciones entre el número de visitas del gremio de lepidópteros a especies vegetales con distintas variables ambientales, temperatura ambiental promedio (°C): r^2 : 0,77; $p < 0,05$, velocidad promedio del viento (km/h): r^2 : -0,66; $p < 0,05$ y radiación solar promedio (W/m²): r^2 : 0,11; $p > 0,05$36

2. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado de especies de plantas encontradas en la comunidad vegetal coironal, junto a su familia, origen y hábito, en la Reserva Natural Pingüino Rey en Tierra del Fuego, Chile.....26

Tabla 2. Listado de especies de lepidópteros diurnos encontrados en el ensamble de vegetación coironal, junto a su familia, subfamilia y origen, en la Reserva Natural Pingüino Rey, Tierra del Fuego, Chile.....28

3. RESUMEN

En el contexto actual de cambio global y declive de polinizadores, comprender cómo los lepidópteros diurnos se relacionan con su entorno resulta clave, especialmente en ecosistemas poco investigados como la estepa patagónica. Esta se caracteriza por sus condiciones climáticas restrictivas: bajas temperaturas y fuertes vientos, y su vegetación dominada por herbáceas, donde las interacciones planta-insecto y la disponibilidad de microclimas pueden condicionar la actividad de insectos ectotermos. Para las mariposas (Lepidoptera), las plantas no sólo son una fuente de alimento, sino que también proporcionan refugio, ya que dependen de la temperatura ambiental para su metabolismo y actividad diaria, lo que las obliga a depender de microclimas favorables generados por la vegetación. En consecuencia, la selección de especies o estructuras vegetales ya sea para alimentarse o refugiarse, es un comportamiento adaptativo clave frente a condiciones climáticas variables. En este estudio se analizaron las preferencias por ciertas especies vegetales de lepidópteros diurnos en la Reserva Natural Pingüino Rey, Tierra del Fuego, Chile. Evaluamos si los lepidópteros diurnos seleccionan ciertas especies vegetales o estructuras específicas de estas y

cómo se ve modulada esta selección por variables climáticas locales como temperatura o viento. Hipotetizamos que i) seleccionan preferentemente especies de plantas y estructuras que ofrecen condiciones microclimáticas más favorables, como mayor temperatura superficial o mayor protección frente al viento, y que ii) esta selección se intensifica en días con condiciones ambientales más restrictivas, como baja temperatura ambiental y fuertes vientos. Para ello, se caracterizó la oferta vegetal y el ensamble de lepidópteros diurnos, se registraron interacciones planta-lepidóptero mediante observaciones directas y se evaluaron condiciones micro y macroclimáticas a través de termografías y datos meteorológicos. Se registraron 28 especies vegetales y 5 especies de mariposas, siendo *Cosmosatyrus leptoneuroides* la especie de mariposa más abundante. Las preferencias de visitas no fueron aleatorias: *Festuca gracillima*, especie de planta estructuradora del coironal, concentró más del 50% de las visitas, principalmente en estructuras vegetativas. Si bien no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el desacople térmico entre especies o estructuras, se observaron valores elevados de desacople térmico, lo que sugiere que la vegetación genera microclimas potencialmente favorables para insectos ectotermos. La frecuencia de visitas se relacionó

positivamente con la temperatura ambiental y mostró una tendencia negativa con la velocidad del viento. Estos resultados sugieren que la estructura de la comunidad vegetal y las condiciones micro y macroclimáticas asociadas actúan como filtros ecológicos que influyen en la selección de microhábitats y en la intensidad de las interacciones planta-lepidóptero en la estepa patagónica. Este estudio aporta evidencia de que las preferencias de las mariposas por determinadas especies y estructuras vegetales no son aleatorias, sino que se relacionan con condiciones microclimáticas generadas por la vegetación, influyendo en la selección de microhábitats en ecosistemas subantárticos.

Palabras clave: interacción planta-insecto; lepidoptera; ecología térmica.

4. ABSTRACT

In the current context of global change and pollinator decline, understanding how diurnal lepidoptera interact with their environment is crucial, especially in poorly studied ecosystems such as the Patagonian steppe. This ecosystem is characterized by restrictive climatic conditions, including low temperatures and strong winds, and by vegetation dominated by herbaceous species, where plant-insect interactions and the availability of microclimates can strongly influence the activity of ectothermic insects. For butterflies (Lepidoptera), plants are not only a source of food, but also provide shelter, as their metabolism and daily activity depend on environmental temperature, forcing them to rely on favorable microclimates generated by vegetation. Consequently, the selection of plant species or specific plant structures for either feeding or shelter represents a key adaptive behavior under variable climatic conditions. In this study, we analyzed the preferences for certain plant species of diurnal lepidoptera in the King Penguin Nature Reserve, Tierra del Fuego, Chile. We evaluated whether diurnal lepidoptera select certain plant species or specific structures of these and how this selection is modulated by local climatic variables such as temperature and wind. We hypothesized that i) Lepidoptera preferentially select plant species and

structures that provide more favorable microclimatic conditions, such as higher surface temperature or greater protection from the wind, and that ii) this selection intensifies on days with more restrictive environmental conditions, such as low ambient temperature and strong winds. To address these hypotheses, we characterized the plant assemblage and the diurnal Lepidoptera assemblage, recorded plant-Lepidoptera interactions through direct observations, and micro- and macroclimatic conditions were evaluated through thermography and meteorological data. We recorded 28 plant species and 5 butterfly species, with *Cosmosatyrus leptoneuroides* being the most abundant of butterflies. Visitation preferences were not random: *Festuca gracillima*, a structurally dominant plant species of the coironal, accounted for more than 50% of visits, mainly on vegetative structures. Although no statistically significant differences in thermal decoupling among plant species or structures were detected, high values of thermal decoupling were observed, suggesting that vegetation generates microclimates that are potentially favorable for ectothermic insects. The frequency of visits was positively related to ambient temperature and showed a negative trend with wind speed. Overall, these results suggest that the structure of the plant community and the associated micro- and macroclimatic conditions act as

ecological filters that influence the selection of microhabitats and the intensity of plant-lepidopteran interactions in the Patagonian steppe. This study provides evidence that butterfly preferences for certain plant species and structures are not random, but are associated with microclimatic conditions generated by vegetation, influencing microhabitat selection in subantarctic ecosystems.

Key words: plant-insect interaction; lepidoptera; thermal ecology.

5. INTRODUCCIÓN

a. Ecología de comunidades y estructura de ensamblajes

La ecología de comunidades busca comprender cómo se organizan los ensamblajes de especies, es decir, agrupaciones locales de organismos que coexisten en el espacio y tiempo, cuyas composiciones están determinadas por factores bióticos y abióticos (Begon et al., 2005; Herrera & Pellmyr, 2002). La estructura y dinámica de estos ensamblajes funcionales están influenciadas por una combinación de factores que actúan como filtros ecológicos para la distribución de las especies y sus abundancias: Restricciones abióticas (Chase & Leibold, 2003), barreras a la dispersión (Vellend et al., 2007) e interacciones bióticas, las cuales podrían modificar tanto la disponibilidad de recursos o el entorno abiótico local con consecuencias potencialmente opuestas sobre la abundancia (e.g. facilitación, competencia; Lortie et al., 2004; Boulangéat et al., 2012). Estos factores interactúan con el contexto ambiental para determinar las condiciones bajo las cuales las especies pueden coexistir (Boulangéat et al., 2012).

Para analizar la estructura de una comunidad, se han desarrollado conceptos como el de gremio funcional, definido como un subconjunto de especies que utilizan similares recursos ambientales o desempeñan roles ecológicos equivalentes en un ecosistema (Korňan & Kropil, 2014). Estos recursos pueden ser vistos como alimento, refugio, hábitat o sitios de anidamiento según la definición de Root (1967). Esta aproximación permite estudiar patrones de diversidad, partición de recursos e interacciones interespecíficas sin necesidad de abordar la totalidad de especies presentes en una comunidad, concentrándose en grupos específicos comparables por sus relaciones ecológicas (Simberloff & Dayan, 1991).

b. Mutualismos planta-lepidóptero: polinización y refugio

Los mutualismos entre plantas y animales destacan por su relevancia evolutiva y ecológica, especialmente por procesos como polinización y dispersión de semillas (Vázquez et al., 2012; Traveset & Richardson, 2014). Estos mutualismos no sólo influyen en la reproducción y distribución de las especies vegetales, sino que también ofrecen recursos y condiciones necesarias para la supervivencia de numerosos animales (Bronstein et al., 2006). Las interacciones entre plantas e insectos han sido fundamentales para la configuración de la biodiversidad actual y los mutualismos entre estos

figuran entre las interacciones más estudiadas (Bronstein, 1994; Bronstein et al., 2006). Y particularmente, el orden Lepidoptera, el cual incluye a mariposas y polillas (Ramos-González, 2017), cuenta con alrededor de 160.000 especies descritas a nivel mundial (segundo orden más diverso de insectos, siendo superado sólo por Coleoptera (Zhang, 2013)), mantiene interacciones mutualistas clave con plantas, desde el punto de vista ecológico, los lepidópteros adultos desempeñan roles clave como polinizadores diurnos y nocturnos, y a su vez, mantienen otras interacciones como consumidores de néctar y presas de vertebrados e invertebrados (Aizen et al., 2002; Ramos-González, 2017). Por otra parte, las plantas no sólo les ofrecen recursos alimenticios (néctar, polen, tejidos vegetales), sino también estructuras que pueden funcionar como hábitat o refugio (Herrera & Pellmyr, 2002).

Desde una perspectiva funcional, los lepidópteros diurnos pueden ser considerados un gremio ecológico que explota similares recursos (Root, 1967; Simberloff & Dayan, 1991), como visitantes florales que dependen del néctar como fuente principal de energía (Ghazanfar et al., 2016). Como insectos ectotermos con requerimientos energéticos elevados y alta sensibilidad térmica (Willmer, 1983; Laird-Hopkins et al., 2023), no sólo

utilizan las flores como fuente de néctar, sino también otras estructuras vegetales como sitios de posamiento o refugio frente a condiciones ambientales adversas, como viento o bajas temperaturas (Woods et al., 2015). Siendo su comportamiento, fuertemente influenciado por las condiciones ambientales (Willmer, 1983; Pincebourde & Casas, 2015; Laird-Hopkins et al., 2023). Este uso dual de los recursos vegetales los posiciona como organismos clave para analizar interacciones tróficas y no tróficas en distintos ecosistemas.

En este contexto, las interacciones planta-lepidoptero, principalmente aquellas relacionadas con la polinización y con el uso de refugios, representan un eje clave tanto para la estabilidad de comunidades como para la persistencia de especies (Bronstein et al., 2006; Traveset & Richardson, 2014).

i. Polinización

Es la transferencia de polen desde una antera al estigma de un carpelo, con el propósito de fertilizar óvulos (Bronstein et al., 2006). La polinización mediada por animales es el principal mecanismo de reproducción para más del 87% de especies de plantas con flores a nivel

global (Ollerton et al., 2011), siendo los insectos el grupo más diverso y numeroso de animales involucrado en este proceso (Ollerton, 2017; Nepi et al., 2018). Su éxito depende de factores tanto a nivel de especie como de comunidad, incluyendo la densidad floral, la diversidad taxonómica y funcional de los ensambles vegetales, así como la diversidad y el comportamiento del ensamble de polinizadores (Willcox et al., 2017; Albor et al., 2019).

ii. Refugio vegetal

En ambientes climáticamente restrictivos, el uso de estructuras vegetales como refugio puede ser determinante para la actividad diaria de insectos ectotermos, ya que estas estructuras permiten amortiguar las fluctuaciones térmicas, reducir la pérdida de calor y minimizar la exposición al viento o la radiación directa (Willmer, 1983; Pincebourde & Casas, 2015). Para escapar o aliviar las fluctuaciones térmicas, los insectos han desarrollado una batería de estrategias fisiológicas y conductuales (Sheikh et al., 2017). Por ejemplo, algunos insectos escapan a refugios térmicos locales, que actúan como microclimas que difieren marcadamente del contexto macroclimático (Sheikh et al., 2017).

En particular, ciertas estructuras vegetales como tallos, hojas e inflorescencias actúan como refugios térmicos con microclimas favorables, permitiendo a los insectos ectotermos alcanzar o mantener temperaturas compatibles con su actividad metabólica y conductual (Woods et al., 2015; Pincebourde et al., 2016). Willmer (1983) demostró que, incluso en condiciones soleadas, muchos insectos evitan forrajear cuando la radiación solar es excesiva, utilizando sombra o estructuras florales como protección contra el sobrecalentamiento. Esta capacidad de las plantas para modificar localmente el entorno térmico tiene implicancias directas en los mutualismos planta-insecto (Woods et al., 2015).

c. Ecología térmica y preferencia de hábitat

Las mariposas, insectos ectotermos (Willmer, 1983), dependen directamente de la temperatura ambiental para regular su metabolismo, comportamiento y actividad diaria (Willmer, 1983). Cada especie posee rangos térmicos óptimos y críticos que determinan cuándo puede desplazarse, alimentarse o reproducirse, lo que restringe sus ventanas de actividad diaria y estacional (Willmer, 1983; Huey & Kingsolver, 1989; Cooley, 1995).

En ambientes climáticamente restrictivos, como zonas alpinas, áridas o subantárticas, las condiciones meteorológicas suelen ser altamente variables e impredecibles a lo largo del día. Factores como el viento, la nubosidad, la temperatura ambiental o la radiación solar pueden modificar drásticamente su temperatura corporal, obligándolas a alternar entre **actividad** y **refugio** (Willmer, 1983; Woods et al., 2015).

Elementos como la rugosidad del terreno, la orientación de las superficies, la cobertura o las estructuras vegetales pueden generar microhábitats térmicamente favorables, que amortiguan las condiciones extremas del macroclima (Woods et al., 2015; Pincebourde et al., 2016). Estos microclimas permiten a lepidópteros diurnos, ectotermos, persistir, alimentarse o descansar durante sus ventanas de actividad.

Particularmente, estructuras vegetales como inflorescencias, hojas o tallos pueden absorber y retener calor, ofreciendo temperaturas más estables que el aire circundante (Pincebourde et al., 2016). Kevan (1975) demostró que algunas flores pueden elevar su temperatura interna hasta 7°C por sobre la temperatura ambiental mediante la absorción de calor exógeno, aumentando la temperatura de los visitantes florales hasta en 15°C. En ambientes

climáticamente restrictivos, las flores, por su morfología, orientación y pigmentación, pueden actuar como paneles solares o colectores de calor mediante la absorción de radiación solar (Cooley, 1995), lo cual puede representar una “recompensa térmica” adicional para los visitantes florales (Kevan, 1975; van der Kooi et al., 2019). Esta ganancia permite a visitantes florales, como las mariposas, termorregular de forma pasiva (Cooley, 1995), lo que influye directamente en su comportamiento de forrajeo, mejorando su permanencia y eficiencia como polinizadores, y también influye en su preferencia por ciertas especies vegetales (Kevan, 1972, 1975; Cooley, 1995, Dyer et al., 2006; van der Kooi et al., 2019). Por lo tanto, flores más cálidas pueden ser seleccionadas no sólo por su néctar, sino también por permitir a mariposas mantener su temperatura corporal dentro de rangos funcionales (Herrera, 1995; van der Kooi et al., 2019).

En condiciones de fuertes vientos y baja temperatura, para evitar la pérdida de calor, muchas mariposas se refugian en la vegetación baja, donde evitan las corrientes de aire, aunque continúan expuestas al sol, lo que, junto a orientar sus alas en direcciones específicas, les permite maximizar la eficiencia de absorción térmica al reducir la pérdida de calor por conducción al aire (Clench, 1966; Laird-Hopkins et al., 2023). Este tipo de

comportamientos sugieren que la estructura y disposición de la vegetación, no sólo por la oferta trófica, podría condicionar la selección de hábitat en escalas finas por parte de las mariposas.

En consecuencia, la selección activa de ciertas especies o estructuras vegetales ya sea con fines de alimentación o refugio, puede ser tan relevante como la disponibilidad de alimento. Por tanto, las preferencias por parte de los insectos no deben entenderse como una simple respuesta, sino como un comportamiento adaptativo clave frente a condiciones climáticas variables. Esto resulta importante en ecosistemas expuestos a fuertes vientos o escasa cobertura arbórea, como la estepa patagónica, donde la vegetación herbácea cumple una doble función: proveer recursos tróficos y configurar el mosaico térmico del que dependen las interacciones planta-insecto.

d. Lepidoptera: Preferencias de microhábitat en la estepa patagónica

El archipiélago de Tierra del Fuego se encuentra rodeado por océanos en tres direcciones (este, sur y oeste), lo que determina un clima marcadamente oceánico, caracterizado por bajas temperaturas, alta humedad y fuertes vientos predominantes del oeste. Estas condiciones climáticas ejercen una

presión constante sobre la vegetación y sobre insectos (Webb & Harwood, 1993; Lara et al., 2005; Molina et al., 2016; Sheikh et al., 2017). En este contexto, la estepa patagónica representa un ecosistema abierto, con escasa cobertura arbórea y dominado por formaciones herbáceas, como los coironales compuestos principalmente por *Festuca gracillima*, además de diversas especies de dicotiledóneas y otras gramíneas bajas (Valle et al., 2015; Vidal et al., 2023).

La Reserva Natural Pingüino Rey (RNPR), ubicada al sureste de Tierra del Fuego, en la desembocadura del río Marazzi, constituye uno de los pocos sitios de conservación de este tipo de vegetación. Antiguamente utilizada para la ganadería, esta zona hoy se encuentra en un proceso de regeneración natural, aunque sigue expuesta a perturbaciones y especies exóticas (e.g. *Hieracium pilosella*, *Taraxacum officinale*, *Rumex acetosella*). Debido a características propias del sitio y a la estructura de la vegetación, presenta un alto grado de heterogeneidad ambiental, generando una diversidad de microclimas locales. Esto representa un recurso clave para los insectos ectotermos que dependen del entorno inmediato para regular su temperatura corporal. Sin embargo, la mayoría de los estudios alrededor del mundo han estado centrados en los órdenes Hymenoptera y Coleoptera, dejando a

Lepidoptera como un grupo secundario en las investigaciones sobre interacciones biológicas. En un contexto de cambio climático y declive de polinizadores, comprender cómo el segundo orden más diverso de insectos ajusta su comportamiento frente a condiciones ambientales variables resulta clave para evaluar la resiliencia de las comunidades biológicas en ecosistemas extremos y subantárticos. Si bien la mayor diversidad de mariposas se encuentra en regiones tropicales y subtropicales, Chile alberga una fauna relativamente reducida pero altamente endémica, con cerca de 182 especies (Rusti et al., 2017). Esta baja diversidad relativa se explica por el aislamiento biogeográfico del país, delimitado por barreras como el océano Pacífico, la cordillera de los Andes y el desierto de Atacama (Rusti et al., 2017). No obstante, este aislamiento ha dado lugar a una fauna especializada y adaptada a condiciones ambientales extremas. En particular, la estepa de Tierra del Fuego alberga un número reducido pero interesante de especies de mariposas diurnas que interactúan con un ensamble floral diverso. A pesar del valor ecológico de la estepa patagónica, los estudios sobre entomofauna en la estepa fueguina siguen siendo escasos, y son aún más escasas las investigaciones que traten el comportamiento de uso de hábitat a escala fina por parte de especies de mariposas en ecosistemas con condiciones

ambientales restrictivas. Con este estudio se espera contribuir a una mejor comprensión del uso de hábitat por parte de lepidópteros en paisajes abiertos y ventosos, fortaleciendo el conocimiento sobre ecología de comunidades en la estepa fueguina, y, por ende, a la conservación de estas. Es por esto, que esta tesis se propuso abordar el patrón de preferencias de las mariposas por ciertas especies vegetales o estructuras específicas y cómo esta selección de microhábitats se ve modulada por variables climáticas locales como la temperatura o el viento.

e. Pregunta de investigación

- ¿Cómo seleccionan ciertas especies vegetales o estructuras específicas (inflorescencias, tallos u hojas) y cómo esta selección se ve modulada por variables climáticas locales como la temperatura o el viento?

6. HIPÓTESIS

Hipótesis 1) Los lepidópteros diurnos seleccionan preferentemente especies y estructuras vegetales que presentan condiciones microclimáticas más favorables, como mayor temperatura superficial o mayor protección frente al viento.

Hipótesis 2) La selección de microhábitats de mayor temperatura superficial o mayor protección frente al viento, es más marcada en días con condiciones ambientales más restrictivas, como baja temperatura ambiental y vientos muy fuertes.

7. OBJETIVO GENERAL

Describir y analizar la preferencia de especies y estructuras vegetales por parte de lepidópteros diurnos en un ecosistema de estepa patagónica, evaluando cómo las variables climáticas modulan este comportamiento.

a. Objetivos específicos

- Caracterizar la oferta vegetal disponible a través de análisis de composición y dominancia de especies.
- Caracterizar el ensamble de lepidópteros diurnos a partir de la abundancia relativa de cada especie según la frecuencia de visitas por parcela.
- Registrar y analizar el comportamiento de lepidópteros diurnos asociado al uso y preferencia de distintas especies y estructuras vegetales, diferenciando conductas de alimentación y posamiento o refugio.
- Evaluar las condiciones micro y macroclimáticas a partir de registros termográficos superficiales de estructuras vegetales y datos meteorológicos del momento.

- Determinar la relación entre condiciones microclimáticas locales y la frecuencia de uso de especies o estructuras vegetales, para así establecer relaciones entre la temperatura y preferencias del gremio de lepidópteros.

8. METODOLOGÍA

a. Sitio de estudio

Este estudio se desarrolló en la estepa patagónica de la Reserva Natural Pingüino Rey (RNPR), un área privada de aproximadamente 30 hectáreas, ubicada en el sector de Bahía Inútil junto al curso inferior del río Marazzi en la Isla Grande de Tierra del Fuego, comuna de Porvenir, Sur de Chile ($53^{\circ}27'38''$ S, $69^{\circ}18' 21''$ O) (Vidal et al., 2023). El clima en el área es templado, con vientos predominantes del Oeste, cuya intensidad aumenta en verano, con ráfagas de hasta 100 km/h, y disminuye considerablemente en invierno. La temperatura media anual es de $6,7^{\circ}\text{C}$, con una mínima promedio de $3,2^{\circ}\text{C}$ y una máxima promedio de $10,2^{\circ}\text{C}$ (Vidal et al., 2023). El mes más cálido es enero, con una temperatura de $11,1^{\circ}\text{C}$, mientras que el mes más frío es julio, con una temperatura promedio de $2,0^{\circ}\text{C}$. La precipitación pluvial anual es aproximadamente de 403 mm (Fick & Hijmans, 2017; Vidal et al., 2023). El tipo de vegetación dominante del área es la estepa patagónica, donde abundan gramíneas amacolladas como *Festuca gracillima* Hook. f., conocida como Coirón (Vidal et al., 2023). Sin embargo, debido a la colindancia del área con el Río Marazzi y Bahía Inútil en el Estrecho de Magallanes, se puede apreciar vegetación estuarina y dunas litorales de

menor superficie, con especies adaptadas a inundaciones temporales y sustrato arenoso (Vidal et al., 2023). Dentro de las comunidades vegetacionales que se encuentran, el coironal se caracteriza por ser la formación más representativa de estepa patagónica, siendo el coirón (*Festuca gracillima*) la especie estructuradora (Domínguez et al., 2019). Las especies arbustivas más comunes son: *Berberis empetrifolia*, *Berberis microphylla*, *Baccharis magellanica* y *Azorella monantha*. En esta formación se aprecian dos estratos verticales: el primero formado por coirón y el segundo, llamado intercoirón, formado por hierbas bajas perennes y anuales, arbustos rastreros y criptógamas (líquenes y briófitas) (Domínguez et al., 2019). Algunas de las especies encontradas son: *Hypochaeris incana*, *Oxalis enneaphylla*, *Taraxacum officinale*, *Adesmia lotoides*, *Hieracium pilosella* y *Rumex acetosella*.

b. Selección de parcelas

Se seleccionaron seis parcelas de 20x20 m, distribuidas al azar dentro del área de estepa patagónica de la RNPR, específicamente en sectores de coironal. Esta selección se basó en la presencia de floraciones activas y accesibilidad para el seguimiento de los insectos.

c. Análisis de composición florística e identificación de especies vegetales

Para el análisis de composición florística, dentro de cada parcela se trazaron 3 transectas con una separación de 5 metros entre ellas, y utilizando un círculo de alambre de 15 cm de diámetro, el cual fue colocado cada metro a lo largo de cada transecta (con dirección Este a Oeste), se registró presencia/ausencia de especies vegetales contenidas dentro.

La identificación de especies vegetales se realizó utilizando el Listado de Plantas en Reserva Natural Pingüino Rey, el Catálogo de las Plantas Vasculares Nativas de Tierra del Fuego (Moore, 1974), Flora de la Reserva Natural Pingüino Rey (Tierra del Fuego, Chile): criterios y narrativas para la selección de plantas carismáticas (Vidal et al., 2023), y el Manual para estimar la cantidad de forraje disponible en pastizales naturales: Una herramienta necesaria para un uso racional de estos ecosistemas (Domínguez et al., 2019). Además, se utilizaron bases de datos como el Catálogo de las Plantas Vasculares, Flora del Conosur, el Instituto de Botánica Darwinion y el Herbario Digital del INIA.

Se estimaron valores de riqueza y abundancia relativa a partir de los registros de presencia/ausencia obtenidos durante el muestreo vegetal. Posteriormente, se construyó un diagrama de rango-abundancia con el fin de visualizar la estructura de dominancia y establecer qué especies vegetales fueron más frecuentes.

d. Identificación de especies de lepidópteros

Para la identificación de especies de lepidópteros diurnos se hizo uso de referencias taxonómicas como la guía Mariposas. Reserva Biológica Huilo Huilo. Guía para la identificación de las especies (Rusti et al., 2017); la Pequeña Guía de campo. Mariposas de Chile (Micra, 2015), junto a la serie de artículos del Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile titulados Una lista actualizada de las mariposas de Chile (Parte I, II y III) y a plataformas digitales como iNaturalist como herramienta complementaria.

En terreno, los ejemplares fueron capturados mediante red entomológica y transferidos a frascos de muestras para su observación preliminar. Este procedimiento permitió evitar la sobrecaptura de individuos al reconocer en terreno aquellos ya registrados. Se procuró alcanzar un número mínimo de ejemplares por especie suficiente para su correcta identificación, priorizando

criterios éticos de recolección. Los individuos seleccionados fueron sacrificados mediante congelación, luego fueron descongelados y montados siguiendo protocolos estándar de entomología, permitiendo así su conservación como parte del muestrario de referencia del museo de la Reserva Natural Pingüino Rey (RNPR).

Adicionalmente, se realizó un registro fotográfico de individuos in situ, especialmente de aquellos ejemplares que no requerían manipulación, como estrategia no invasiva para su identificación. Esto permitió minimizar la captura innecesaria de ejemplares y reducir la perturbación sobre las poblaciones locales.

e. Muestreo de interacciones planta-lepidóptero

Se realizó un método de observación directa basado en el seguimiento de individuos de lepidópteros en vuelo, siguiendo la metodología para estudios de visitantes florales con enfoque zoocéntrico, planteada por Medel et al., (2009). Cada observación consistió en seguir un ejemplar de lepidóptero desde su aparición en la parcela hasta que abandonaba el área o hasta que dejaba de ser observable, durante un tiempo de 30 minutos por parcela. Se registraron las siguientes variables para cada interacción:

- Especie de lepidóptero avistado
- Especie de planta visitada
- Preferencia: 0 = estructura vegetativa; 1 = estructura floral
- Condiciones meteorológicas: temperatura ambiental, velocidad del viento, presencia/ausencia de nubosidad, radiación solar.

Las observaciones se realizaron en horarios donde la actividad de lepidópteros es máxima, entre las 10:00 y 18:00 horas, priorizando días y momentos con condiciones climáticas favorables y evitando jornadas con vientos superiores a 60 km/h. Además, se realizaron registros fotográficos para documentar los momentos de interacción.

Para caracterizar al ensamble de lepidópteros diurnos, se calcularon sus abundancias relativas a partir de los registros por parcela para establecer qué especies son más frecuentes, se estableció la frecuencia de visitas por parcela dentro de la media hora de muestreo establecida para cada una. A su vez, se generaron redes de interacciones de visitantes florales, para analizar la estructura y fuerza de las interacciones mutualistas entre especies de lepidópteros y especies de plantas.

f. Análisis de ecología térmica

Se tomaron imágenes de temperatura superficial de las estructuras vegetales posterior a la visita del individuo de lepidóptero utilizando una cámara termográfica infrarroja, modelo FLIR E6 Pro, tanto de estructuras florales o estructuras vegetativas de distintas especies de plantas, esto junto a datos meteorológicos de temperatura ambiental, velocidad del viento y radiación solar otorgados por estaciones climatológicas propias de la RNPR (ubicadas frente a la costa, cerca de la colonia de pingüinos y próximo a la ubicación de las parcelas de muestreo para esta investigación), permitió crear matrices que relacionan la temperatura superficial de estructuras vegetales, datos meteorológicos y frecuencia de visitas por lepidópteros diurnos. Para entender cómo el clima local modula el comportamiento y preferencia de las mariposas.

g. Análisis de datos

Para la hipótesis 1, se analizaron diferencias en la frecuencia de visitas de lepidópteros y en el desacople térmico según especie y estructura vegetal:

a) Se comparó la frecuencia de visitas de lepidópteros entre distintas especies vegetales (considerando la frecuencia relativa como variable dependiente y

las especies vegetales como variable independiente), para esto se realizó un test no paramétrico Kruskal-Wallis.

b) Se comparó la frecuencia de visitas de lepidópteros entre dos estructuras vegetales, i.e. flores y estructuras vegetativas (considerando la frecuencia relativa como variable dependiente y la estructura vegetal como variable independiente), para esto se realizó un test no paramétrico U de Mann-Whitney.

c) Se comparó los valores promedios de desacople térmico (diferencia entre la temperatura ambiental y la temperatura superficial de la planta) entre especies (considerando el desacople térmico como variable dependiente y las especies vegetales como variable independiente), para esto se realizó un test no paramétrico Kruskal Wallis.

d) Se comparó diferencias de desacople térmico (diferencia entre la temperatura ambiental y la temperatura superficial de flores o de estructuras vegetativas) entre distintas estructuras vegetales (considerando el desacople térmico como variable dependiente y la estructura vegetal como variable independiente), para esto se realizó un test no paramétrico U de Mann-Whitney.

Para la hipótesis 2, se evaluó la influencia de las condiciones climáticas en la frecuencia de visitas

a) Se realizó una correlación lineal entre la frecuencia de visitas y la temperatura ambiental, considerando la frecuencia de visitas como variable dependiente y la temperatura ambiental como variable independiente.

b) Se realizó una correlación lineal entre la frecuencia de visitas y la velocidad del viento, considerando la frecuencia de visitas como variable dependiente y la velocidad del viento como variable independiente.

c) Se realizó una correlación lineal entre la frecuencia de visitas y la radiación solar, considerando la frecuencia de visitas como variable dependiente y la radiación solar como variable independiente.

Para estos casos asociados a la hipótesis 2, se utilizó como modelo la especie o estructura vegetal de la planta con mayor desacople térmico, para evaluar sensibilidad climática.

9. RESULTADOS

a. Oferta vegetal disponible

Para el ensamble de especies de plantas del tipo de vegetación coironal se encontraron 28 especies, distribuidas en 21 géneros y 10 familias (Tabla 1); de estas, las familias más numerosas fueron Asteraceae con un 39% de las especies, Poaceae con 14% y Rosaceae con 11% de las especies. Del total de especies encontradas, un 79% corresponde a especies nativas y un 21% corresponde a especies introducidas.

Tabla 1. Listado de especies de plantas encontradas en la comunidad vegetal coironal, junto a su familia, origen y hábito, en la Reserva Natural Pingüino Rey en Tierra del Fuego, Chile.

Especies	Familia	Origen	Hábito
<i>Baccharis magellanica</i>	Asteraceae	Nativa	Subarbusto
<i>Senecio magellanicus</i>	Asteraceae	Nativa	Herbácea
<i>Hypochaeris incana</i>	Asteraceae	Nativa	Herbácea
<i>Taraxacum officinale</i>	Asteraceae	Introducida	Herbácea
<i>Hieracium pilosella</i>	Asteraceae	Introducida	Herbácea
<i>Perezia recurvata</i>	Asteraceae	Nativa	Herbácea
<i>Nassauvia darwinii</i>	Asteraceae	Nativa	Herbácea
<i>Senecio miser</i>	Asteraceae	Nativa	Subarbusto
<i>Senecio leucomallus</i>	Asteraceae	Nativa	Herbácea
<i>Erigeron patagonicus</i>	Asteraceae	Nativa	Herbácea
<i>Achillea millefolium</i>	Asteraceae	Introducida	Herbácea
<i>Festuca gracillima</i>	Poaceae	Nativa	Herbácea
<i>Bromus coloratus</i>	Poaceae	Nativa	Herbácea
<i>Festuca magellanica</i>	Poaceae	Nativa	Herbácea
<i>Aira praecox</i>	Poaceae	Introducida	Herbácea
<i>Acaena pinnatifida</i>	Rosaceae	Nativa	Herbácea
<i>Acaena patagonica</i>	Rosaceae	Nativa	Herbácea
<i>Acaena magellanica</i>	Rosaceae	Nativa	Herbácea
<i>Azorella trifurcata</i>	Apiaceae	Nativa	Subarbusto
<i>Azorella monantha</i>	Apiaceae	Nativa	Subarbusto
<i>Adesmia lotoides</i>	Fabaceae	Nativa	Herbácea
<i>Vicia bijuga</i>	Fabaceae	Nativa	Herbácea
<i>Berberis microphylla</i>	Berberidaceae	Nativa	Arbusto
<i>Berberis empetrifolia</i>	Berberidaceae	Nativa	Arbusto
<i>Rumex acetosella</i>	Polygonaceae	Introducida	Herbácea
<i>Cerastium arvense</i>	Caryophyllaceae	Introducida	Herbácea
<i>Oxalis enneaphylla</i>	Oxalidaceae	Nativa	Herbácea
<i>Luzula alopecurus</i>	Juncaceae	Nativa	Herbácea

Al análisis estructural de esta comunidad, se encuentran diferencias en las abundancias y dominancia de las especies (Fig. 1). En el diagrama rango-

abundancia se observa que la especie dominante es *Festuca gracillima*, siendo mucho más abundante en comparación a todo el resto de las especies.

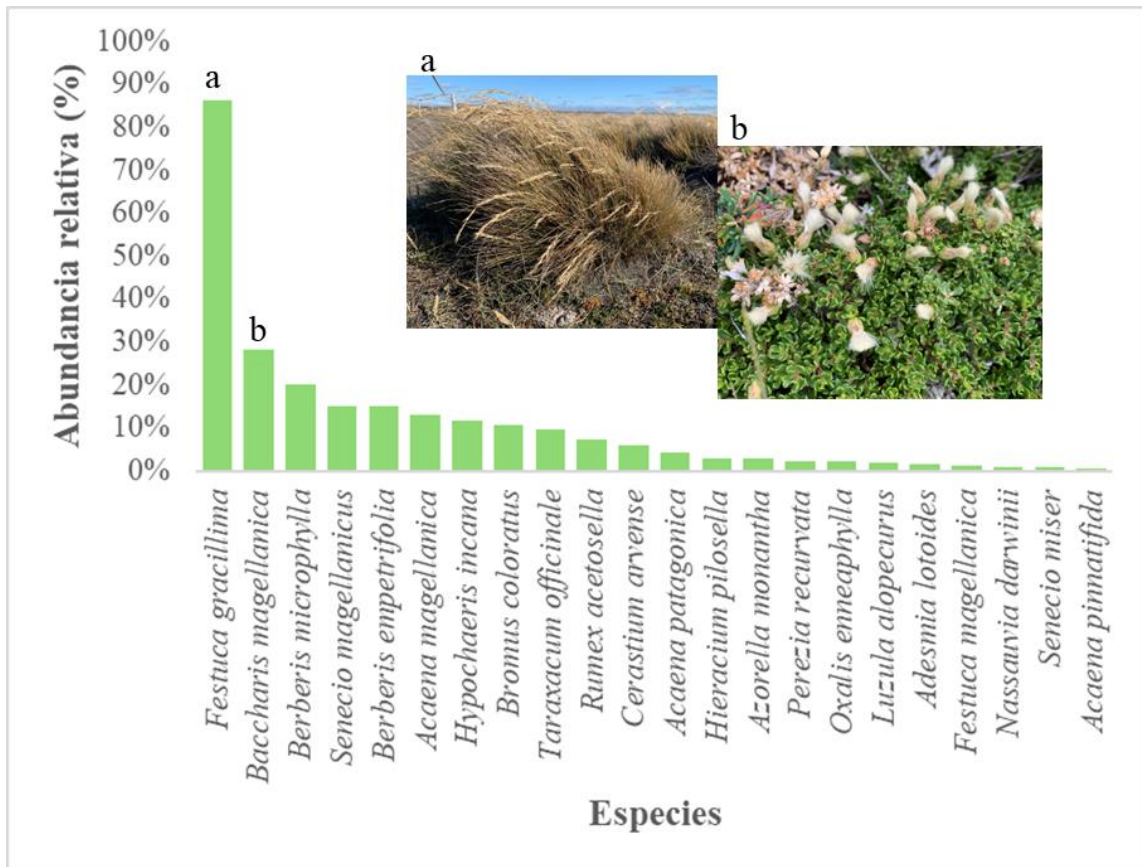


Figura 1. Dominancia (diagrama de rango abundancia, expresada en términos porcentuales) de las especies vegetales encontradas en el ensamble de vegetación coironal en la Reserva Natural Pingüino Rey, Tierra del Fuego, Chile.

b. Ensamble de lepidópteros

Se encontraron 5 especies de lepidópteros diurnos, distribuidas en 5 géneros y 2 familias (Tabla 2). Sin embargo, se encontraron 2 subespecies para *Colias*

vauthierii: *Colias vauthierii vauthierii* y *Colias vauthierii cunninghamii*, si bien comparten una misma área de distribución y podrían considerarse como una misma especie, para este estudio fueron considerados como 2 unidades taxonómicas diferentes, de acuerdo con la literatura taxonómica disponible y en base a caracteres fenotípicos externos, particularmente, la coloración alar observada en hembras.

Tabla 2. Listado de especies de lepidópteros diurnos encontrados en el ensamble de vegetación coironal, junto a su familia, subfamilia y origen, en la Reserva Natural Pingüino Rey, Tierra del Fuego, Chile.

Especie	Familia	Subfamilia	Origen
<i>Cosmosatyrus leptoneuroides</i>	Nymphalidae	Satyrinae	Nativa
<i>Argyrophorus chiliensis magellanicus</i>	Nymphalidae	Satyrinae	Nativa
<i>Yramea lathonioides</i>	Nymphalidae	Heliconiinae	Nativa
<i>Hypsochila argyrodice</i>	Pieridae	Pierinae	Nativa
<i>Colias vauthierii cunninghamii</i>	Pieridae	Coliadae	Nativa
<i>Colias vauthierii vauthierii</i>	Pieridae	Coliadae	Nativa

En terreno se realizaron 212 registros de lepidópteros diurnos posados en flor o en estructuras vegetativas de distintas especies de plantas. Se identificó que la especie más abundante fue *Cosmosatyrus leptoneuroides* con una abundancia relativa de un 81% (Fig. 2), y siendo *Colias vauthierii vauthierii* y *Colias vauthierii cunninghamii* las menos abundantes.

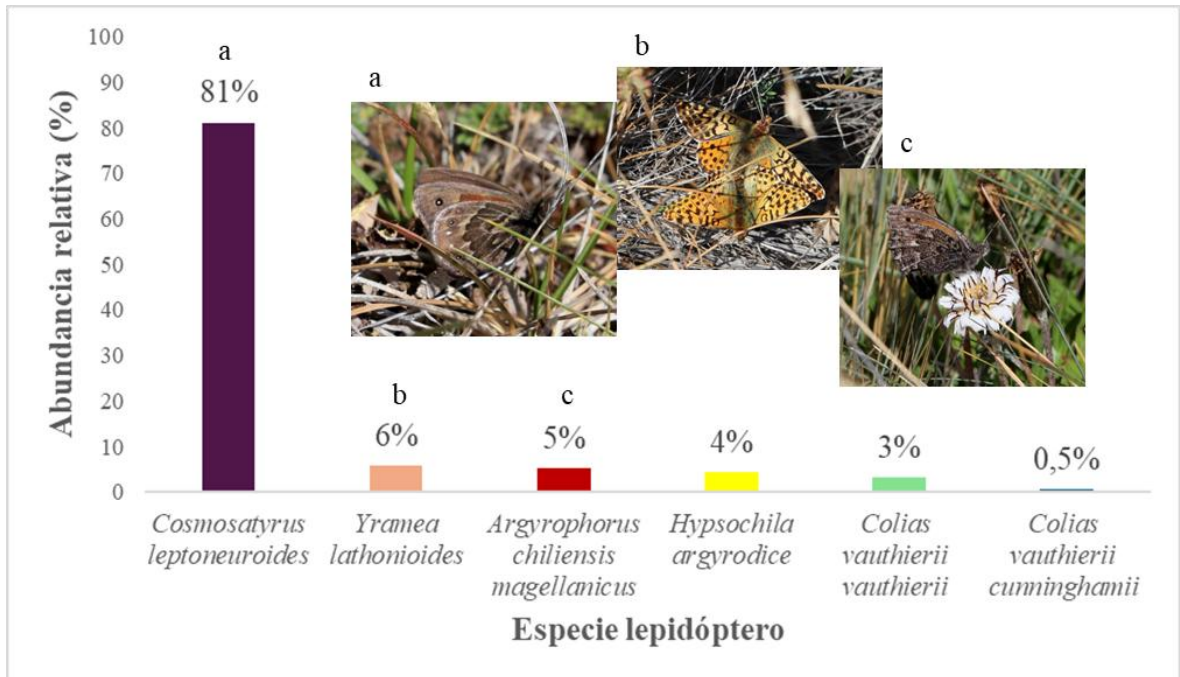


Figura 2. Abundancia relativa (%) de las distintas especies de lepidópteros encontrados en la comunidad vegetal coironal en la Reserva Natural Pingüino Rey, Tierra del Fuego, Chile.

c. Preferencias de visitas

A partir de los registros de lepidópteros diurnos, se realizó una red de interacciones (Fig. 3) que relaciona las especies de lepidópteros y de plantas, junto a sus abundancias relativas y los registros de interacciones interespecíficas. Se encontró que la especie de lepidóptero *C. leptoneuroides* tiene un comportamiento más bien generalista, interactuando con casi todas las especies de plantas. Otras especies de mariposas diurnas evidencian interacciones más específicas con ciertas especies de plantas. Por otra parte, la especie de planta *Hypochoeris incana* fue visitada por todas las especies

de lepidópteros. Sin embargo, la herbácea *F. gracillima* fue de las especies de plantas más visitadas.

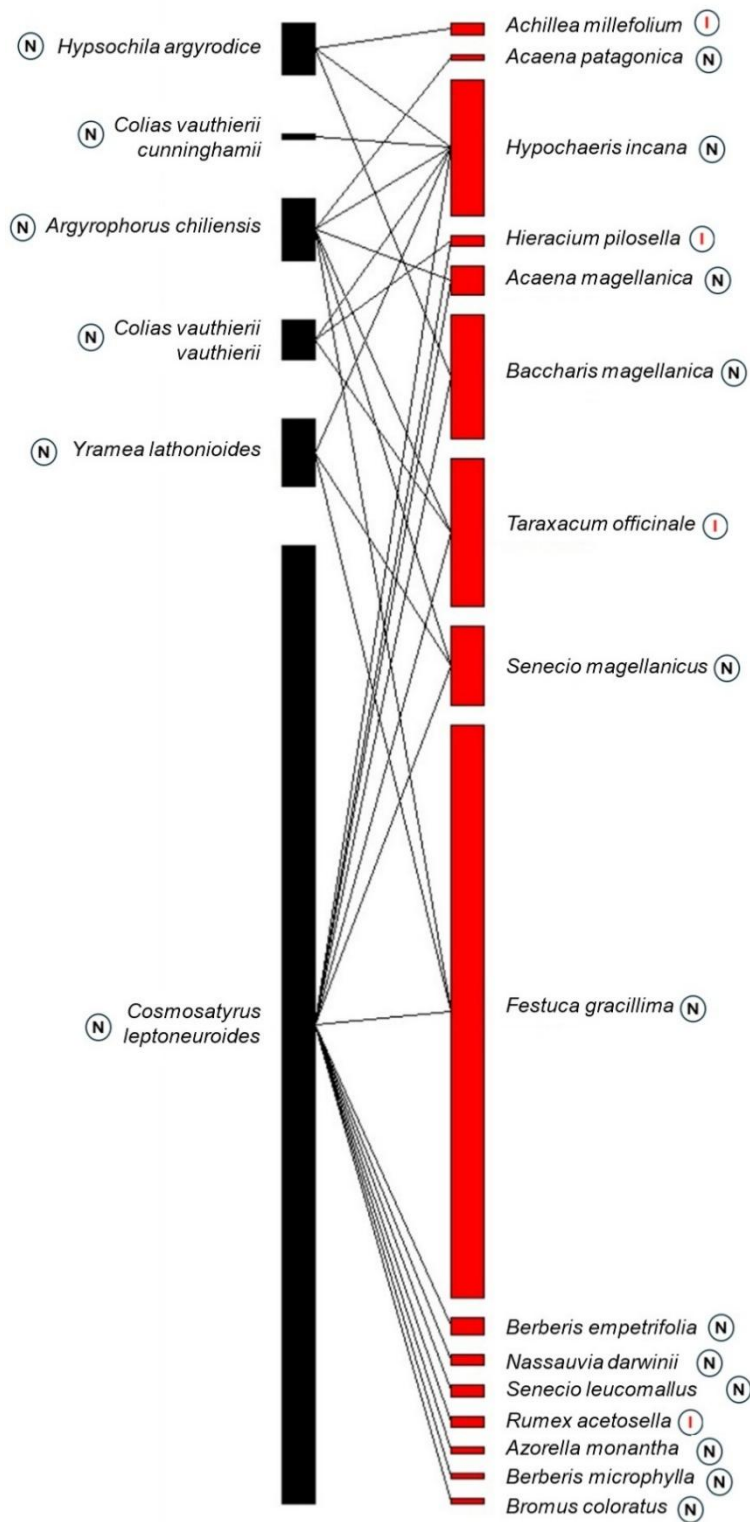


Figura 3. Red de interacciones planta-lepidóptero en una comunidad vegetal de coironal (n = 212 registros) en Tierra del Fuego, Chile. El ancho de las barras negras indica la abundancia relativa de las especies de lepidópteros diurnos, mientras que el ancho de las barras rojas representa la frecuencia de visitas recibidas por cada especie vegetal. Próximo al nombre científico, los símbolos (N) e (I) indican especies nativas e introducidas, respectivamente.

A partir de la frecuencia de visitas de plantas, se identificó que las especies más preferentemente visitadas por el gremio de lepidópteros diurnos fueron *Festuca gracillima* con un 54% de las visitas, *Taraxacum officinale* con 13% y *Baccharis magellanica* con 11% (Fig. 4). A partir del test no paramétrico, se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de visitas a las distintas especies vegetales.

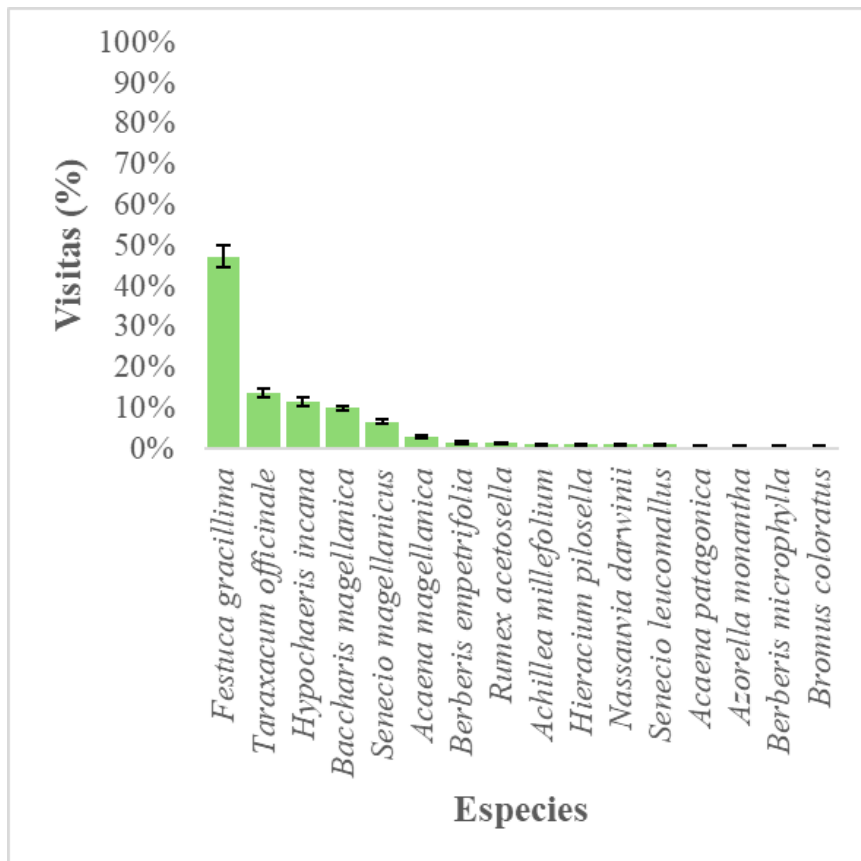


Figura 4. Promedio de visitas (\pm SE) del gremio de lepidópteros diurnos a las especies vegetales encontradas en la RNPR. Test no paramétrico Kruskal-Wallis, $\chi^2 (15) = 47.3392$; $p < 0,0001$.

Por otra parte, la estructura vegetal – floral o vegetativa – más frecuentemente visitada fueron las estructuras vegetativas de las plantas con un 57% de las visitas totales (Fig. 5). No se encontraron diferencias significativas entre las visitas a estructuras florales y vegetales.

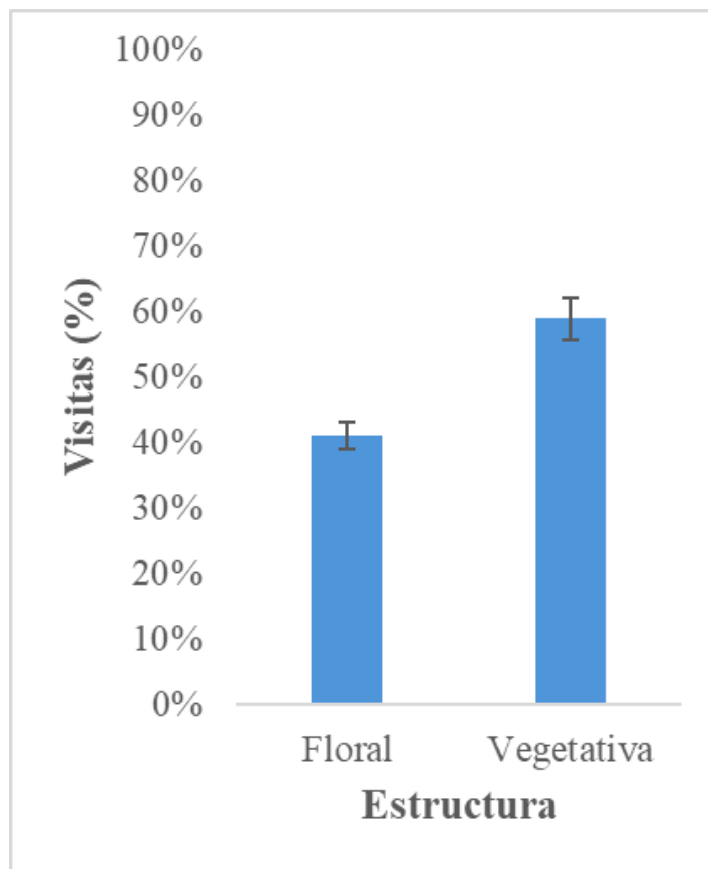


Figura 5. Promedio de visitas (\pm SE) del gremio de lepidópteros diurnos a estructuras florales y vegetativas de las especies de plantas encontradas en la RNPR. Test no paramétrico U de Mann-Whitney, $\chi^2(1) = 0.5211$; $p > 0.05$.

d. Ecología térmica

Al análisis térmico de las condiciones micro y macro climáticas, se encontró que las especies con más desacople térmico promedio fueron *Festuca gracillima* y *Baccharis magellanica* con aproximadamente 15°C (Fig. 6). No se encontraron diferencias significativas entre los promedios de desacople térmico entre especies vegetales.

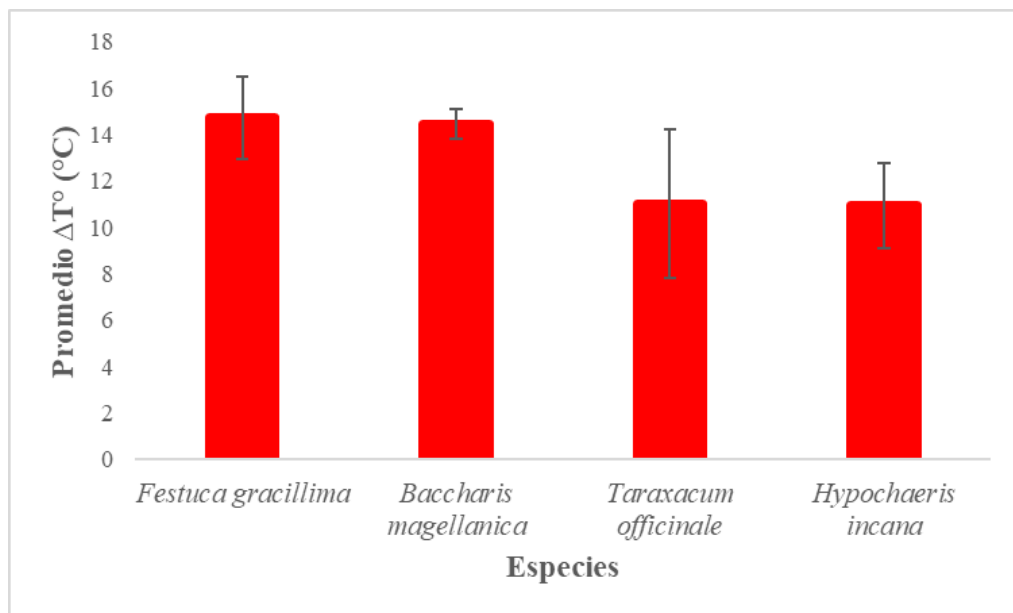


Figura 6. Promedio de desacople térmico (\pm SE) entre la temperatura ambiental y la temperatura superficial de las especies vegetales encontradas en la RNPR. Test no paramétrico Kruskal-Wallis, χ^2 (3) = 5.8970; $p > 0.05$.

El análisis de desacople térmico entre estructura floral y vegetativa, arrojó que las estructuras vegetativas presentaron mayor desacople térmico promedio, aproximadamente 27°C (Fig. 7). No se encontraron diferencias significativas entre los promedios de desacople térmico de estructuras florales y vegetativas de las distintas especies de plantas.

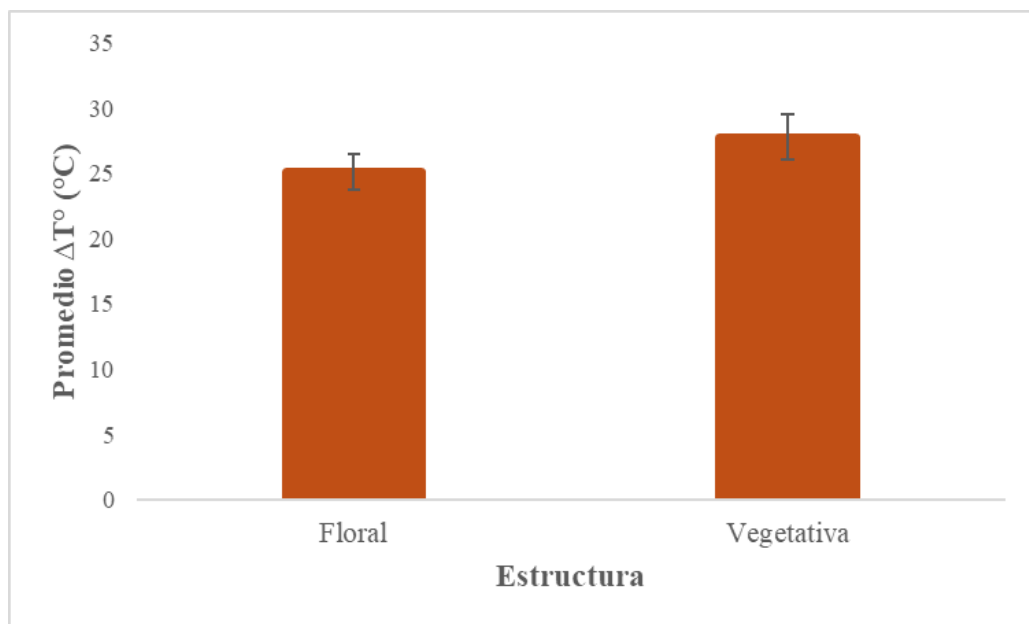


Figura 7. Promedio de desacople térmico (\pm SE) entre la temperatura ambiental y la temperatura superficial de estructuras florales y vegetativas de las especies de plantas encontradas en la RNPR. Test no paramétrico U de Mann-Whitney, χ^2 (1) = 1.4122; $p > 0.05$.

e. Influencia de variables climáticas en la frecuencia de visitas

Al análisis de la influencia de variables climáticas sobre la frecuencia de visitas del gremio de lepidópteros diurnos a las distintas especies de plantas de la RNPR (Fig. 8), se encontró que el número de visitas se relaciona

significativamente de forma positiva con la temperatura ambiental promedio (Fig. 8a), con un índice de correlación de Pearson (r^2) = 0,77. Por otra parte, el número de visitas también se relaciona significativamente de forma positiva con la radiación solar promedio (Fig. 8c), índice de correlación de Pearson (r^2) = 0,11. Por otra parte, no se relaciona con la velocidad del viento (Fig. 8b), índice de correlación (r^2) = -0,66.

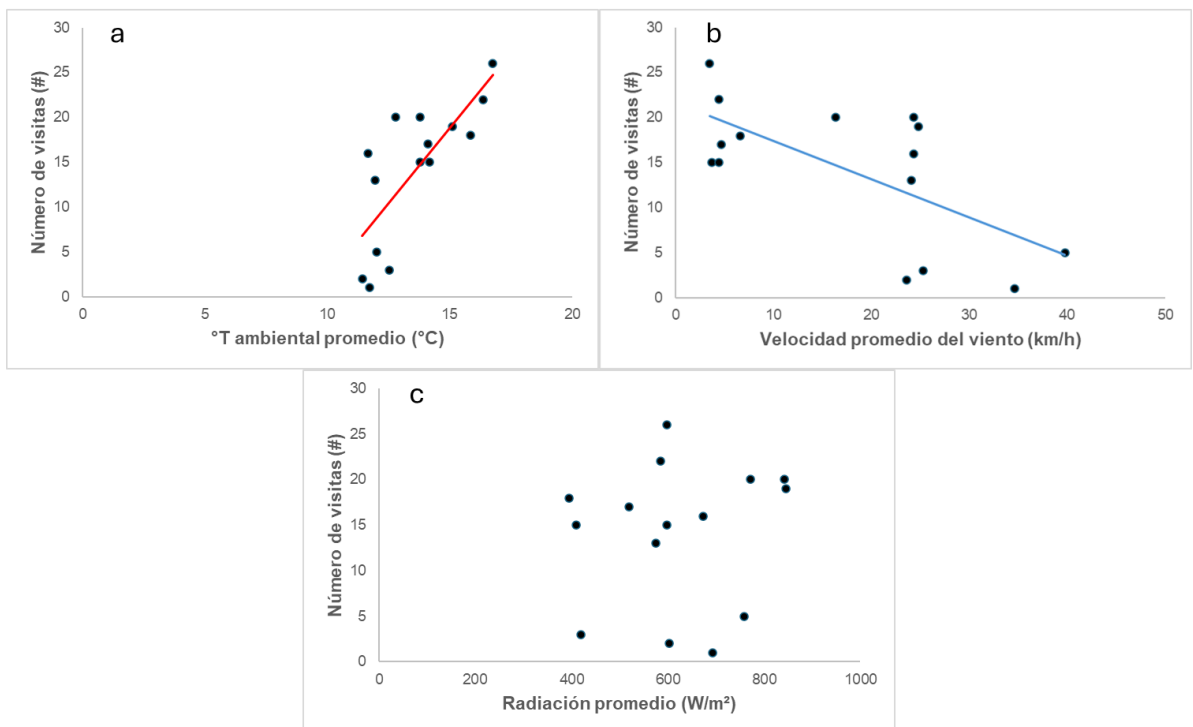


Figura 8. Correlaciones entre el número de visitas del gremio de lepidópteros a especies vegetales con distintas variables ambientales, temperatura ambiental promedio (°C): r^2 : 0,77; $p < 0,05$, velocidad promedio del viento (km/h): r^2 : -0,66; $p < 0,05$ y radiación solar promedio (W/m²): r^2 : 0,11; $p > 0,05$.

Para mayor especificidad de sensibilidad térmica, se seleccionaron la especie *Festuca gracillima* y el tipo de estructura **vegetativa** como modelos, ya que

presentaron mayor desacople térmico promedio, los análisis de correlación arrojan una relación lineal positiva entre el número de visitas y la temperatura ambiental promedio para ese momento, con un índice de correlación de Pearson (r^2) = 0,25 y 0,36, respectivamente. Al relacionar el número de visitas con las variables ambientales velocidad promedio del viento y radiación solar promedio, arrojan una relación negativa tanto para el análisis de especie y de estructura. Ninguno se relaciona de forma estadísticamente significativa.

10. DISCUSIÓN

a. Síntesis y cumplimiento del objetivo general

El objetivo general de este estudio fue describir y analizar las preferencias de especies y estructuras vegetales por parte de lepidópteros diurnos en un ecosistema de estepa patagónica, evaluando cómo las variables climáticas modulan este comportamiento. Los resultados obtenidos permiten afirmar que el objetivo se cumplió, ya que fue posible caracterizar la oferta vegetal disponible, documentar las interacciones planta-lepidóptero a escala fina y establecer relaciones entre la actividad de las mariposas y el clima local. Se corroboró que el gremio de lepidópteros no utiliza los recursos vegetales de manera aleatoria, sino que presentan preferencias por ciertas especies y estructuras, estos patrones de preferencias fueron interpretados considerando condiciones microclimáticas generadas por la vegetación, características ecofisiológicas propias del orden Lepidoptera y el contexto climático propio de la estepa de Tierra del Fuego.

Los hallazgos de este estudio se alinean con la literatura presentada en la introducción de esta tesis, donde se destaca que los lepidópteros, como insectos ectotermos, dependen fuertemente de la temperatura ambiental y

también, de la heterogeneidad térmica del hábitat para mantener su actividad diaria (Willmer, 1983; Pincebourde & Casas, 2015; Woods et al., 2015; Pincebourde et al., 2016; Sheikh et al., 2017). Tal como plantean Pincebourde & Casas, (2015) y Woods et al., (2015), las plantas pueden modificar el microclima circundante, generando refugios térmicos en ambientes ventosos y fríos.

Así, este estudio no sólo cumple con describir patrones de preferencia, sino también confirma el papel del clima local y de la estructura vegetal de las comunidades en la regulación del comportamiento de lepidópteros diurnos en ecosistemas subantárticos.

b. Preferencias de especies de plantas y estructuras vegetales

La elección de recursos vegetales por parte de los insectos suele depender de la disponibilidad de recursos florales, oferta y características del néctar, y es una combinación compleja de consideraciones metabólicas, preferencias innatas, constancia y composición del vecindario floral (Latty & Trueblood, 2020). Sin embargo, se ha descrito que, en ambientes con condiciones climáticas restrictivas, la preferencia por ciertas especies está más asociada a la estructura de las comunidades, y a la capacidad de algunas especies de

plantas para generar microclimas o refugios térmicos que permitan amortiguar variaciones climáticas, ya sea en estructuras vegetativas o florales (Willmer, 1983; Herrera, 1995; Pincebourde & Casas, 2015; van der Kooi et al., 2019).

Estos efectos se explican principalmente por dos mecanismos. Primero, las estructuras físicas, como hojas, ramas, tallos y dosel, pueden aumentar o disminuir la tasa de intercambio térmico entre la vegetación y la atmósfera, bloqueando la radiación solar directa, absorber radiación solar proporcional al área de la hoja y bloquear fuertes vientos (Wright & Francia, 2024). Segundo, la evapotranspiración permite enfriar el aire adyacente mediante el transporte de agua desde el suelo hacia las hojas, donde se libera en forma de vapor (Wright & Francia, 2024). Otros estudios centrados en estructuras florales demostraron que las flores captando radiación solar son capaces de aumentar su temperatura interna entre 5 – 15 °C por sobre la temperatura ambiental, ofreciendo una recompensa o refugio (Cooley, 1975; Kevan, 1975; Seymour et al., 2003 y van der Kooi et al., 2019).

La heterogeneidad térmica dentro de un paisaje y cuánto de ese paisaje un organismo puede habitar es lo que finalmente determinará los microclimas

que este organismo experimentará (Pincebourde et al., 2016). Para este estudio, características geométricas propias de las estructuras vegetales producen esta heterogeneidad térmica que experimentan los organismos, y que es modulada por el comportamiento, ya que insectos pequeños pueden desplazarse entre microambientes térmicamente contrastantes en distancias de pocos centímetros (Oke, 1989; Woods, 2010, 2013; Pincebourde & Woods, 2012; Kaspari et al., 2015). Así, las variaciones en orientación, pendiente o rugosidad de las superficies influyen directamente en la cantidad de energía absorbida o reflejada, configurando un mosaico térmico complejo que condiciona la actividad y la selección de hábitat de insectos ectotermos (Oke, 1989). Sin embargo, el tamaño y la movilidad determinan la escala efectiva a la que un individuo percibe y responde a esta variabilidad de ambiente térmico (Porter & Gates, 1969; Vickers et al., 2011; Sears & Angilletta, 2015; Pincebourde et al., 2016). A pesar de la complejidad para definir la heterogeneidad térmica de un espacio, existen propiedades generales: La heterogeneidad térmica del ambiente puede facilitar o dificultar la termoregulación, dependiendo si los microclimas disponibles coinciden con los rangos térmicos óptimos de cada especie (Pincebourde et al., 2016).

En este contexto, el uso de estructuras vegetativas por parte de lepidópteros diurnos coincide con lo planteado por Willmer (1983); Pincebourde & Casas (2015); Pincebourde et al. (2016), Sheikh et al. (2017) y Bladon et al. (2020), quienes señalan que los insectos ectotermos ajustan su comportamiento espacial para mantener su temperatura corporal dentro de sus rangos fisiológicos óptimos, termoregulando de manera conductual y buscando sitios o refugios que ofrezcan temperaturas más estables que el aire circundante, para así evitar condiciones extremas.

Taxones como Lepidóptera, disponen de una amplia gama de mecanismos conductuales para controlar su temperatura corporal. Bajo condiciones climáticas frías, inclinan sus cuerpos y alas perpendicularmente al sol para maximizar la absorción de radiación solar, mientras que en condiciones más cálidas adoptan posturas que reducen el área expuesta al sol, disminuyendo la ganancia térmica (Bladon et al., 2020). Algunas especies presionan sus cuerpos contra el suelo o sobre plantas secas (superficies que no enfrían por evapotranspiración y, por ende, retienen calor) durante las mañanas, para aumentar su temperatura corporal, y se refugian bajo la sombra de tallos y hojas durante mediodía, evitando el sobrecalentamiento. En muchos casos, pasar del sol a la sombra requiere apenas de unos pocos centímetros de

desplazamiento, lo que demuestra que la heterogeneidad térmica y espacial del entorno es tan importante como la temperatura promedio para determinar la actividad de los insectos (Woods et al., 2015).

Diversos estudios respaldan este comportamiento de selección de microclimas como un rasgo común en mariposas diurnas (Kleckova et al., 2014, Kleckova & Klecka, 2016, Ide, 2010, Hayes et al., 2019 y Bladon et al., 2020). Estos insectos suelen preferir áreas expuestas al sol para calentarse y sitios más sombríos para enfriarse, utilizando variaciones térmicas locales como estrategia de regulación. A escalas espaciales ligeramente mayores, los lepidópteros también pueden seleccionar sectores más amplios del paisaje, como laderas con diferente orientación solar, en función de su temperatura preferida (Dreisig, 1995, Rutowski et al., 1994; Oliver et al., 2009; Suggitt et al., 2012).

La diversidad de microclimas dentro de un entorno puede proteger a las especies de fluctuaciones ambientales, ofreciendo refugios con microclimas favorables para especies sensibles a la temperatura (Thomas & Simcox, 2005). Estudios recientes han mostrado que áreas con mayor diversidad de microclimas presentan menores tasas de extinción de poblaciones de insectos

y plantas que con microclimas más homogéneos (Suggitt et al., 2018). Por ello, comprender cómo los lepidópteros diurnos responden a la variación de térmica a escalas microclimáticas finas resulta fundamental para predecir su respuesta frente al cambio climático (Ide, 2002; Kearney et al., 2009; Lembrechts et al., 2019; Bladon et al., 2020).

La primera hipótesis planteó que los lepidópteros diurnos seleccionarían preferentemente especies y estructuras vegetales que presentaran condiciones microclimáticas más favorables, como mayor temperatura superficial o mayor protección contra el viento. Los resultados de este estudio demostraron que *F. gracillima* concentró el 54% de todas las visitas registradas de mariposas a plantas. Esto además coincide con que *F. gracillima* es la especie más abundante dentro de la comunidad de coironal (Fig. 1). Lo que reforzaría su papel descrito en la literatura como especie estructuradora de la estepa patagónica, capaz de generar microhábitats estables y actuar como “planta nodriza” para otras herbáceas como *Hypochaeris incana*, *Taraxacum officinale*, *Senecio magellanicus* (Domínguez et al., 2019), lo que sugiere que su disponibilidad y estructura, pueden influir fuertemente en la configuración del ensamble de visitantes, ya que, favorecería la diversidad del vecindario floral. A pesar de ser una

gramínea que no ofrece necesariamente recursos tróficos, su estructura física: mayor altura respecto del resto de plantas, densidad y flexibilidad frente al viento podría favorecer, en este caso, su selección como sitio de posamiento o refugio.

Respecto a la selección de estructuras vegetales, los resultados mostraron una tendencia hacia una mayor cantidad de visitas en estructuras vegetativas (57% de las visitas), lo que se condice con las preferencias observadas por *F. gracillima*, no obstante, no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas. Aunque los valores de desacople térmico entre la temperatura superficial y ambiental no mostraron diferencias significativas entre especies o estructuras vegetales, los promedios de desacople de alrededor de 14°C entre especies de plantas y 27°C entre estructuras vegetativas y florales, sugieren que las plantas y sus estructuras actúan como refugios térmicos relevantes para insectos ectotermos, lo que coincide con estudios previos que muestran que las plantas pueden modificar su microclima próximo en rangos de 10-20 °C (DeFrenne et al., 2019; Lembrechts et al., 2020).

En conjunto, estos resultados sugieren que la estructura de la comunidad vegetal y las condiciones microclimáticas creadas por las distintas especies y

sus estructuras actúan como filtros ecológicos, que determina cuándo y dónde ocurren las interacciones planta-lepidóptero. Finalmente, son estas temperaturas microclimáticas que los individuos experimentan día a día, las que influyen en su distribución, abundancia y comportamiento a escala local (Bladon et al., 2020).

Así, la primera hipótesis se cumple parcialmente: si bien las diferencias térmicas no fueron significativas, las preferencias observadas son consistentes con lo esperado para organismos ectotermos en ecosistemas fríos y ventosos. La estructura vegetal y la disponibilidad espacial emergen como factores que moldean las preferencias del gremio de lepidópteros en la estepa patagónica.

c. Influencia del clima local en la actividad y selección de microhábitats

Como insectos ectotermos, los lepidópteros dependen de fuentes externas de calor para alcanzar temperaturas corporales que les permitan volar, alimentarse o reproducirse y, en consecuencia, las condiciones térmicas ambientales no sólo determinarían sus ventanas de actividad, sino también sus preferencias tróficas y no tróficas. Cuando la temperatura ambiental baja, su metabolismo y actividad muscular se reducen, obligándolos a priorizar la

búsqueda de refugio por sobre la actividad de forrajeo (Bladon et al., 2020). En cambio, el viento puede tener un doble efecto negativo: incrementa la pérdida de calor por convección y dificulta el vuelo. Enfrentadas a fuertes vientos, las mariposas reducen su actividad o buscan refugio en la vegetación densa, donde las corrientes de viento son más débiles y la pérdida de calor es menor (Sheikh et al., 2017; Bladon et al., 2019).

La segunda hipótesis propuso que la selección de microhábitats con mayor temperatura superficial o mayor protección frente al viento sería más marcada en condiciones ambientales restrictivas, como baja temperatura ambiental y vientos fuertes. Las condiciones climáticas de la estepa patagónica, bajas temperaturas, viento constante y alta variabilidad, reducen drásticamente sus ventanas de actividad, y los resultados de este estudio lo demuestran: a mayor temperatura ambiental, mayor frecuencia de visitas. Siendo este el principal factor modulando el número de visitas, esto concuerda con la literatura sobre el comportamiento de lepidópteros en ambientes fríos y es consistente con la dependencia térmica de la actividad de insectos ectotermos (Bladon et al., 2020). En contraste, la velocidad del viento mostró una relación negativa, aunque sin significancia estadística, esta tendencia es consistente con lo observado en insectos que habitan en paisajes

ventosos, donde el viento aumenta la pérdida de calor por convección, dificulta el vuelo y reduce el tiempo disponible para forrajeo (Woods et al., 2015; Sheikh et al., 2017, Bladon et al., 2020). Siendo razonable que lepidópteros diurnos reduzcan su actividad y prefieran refugiarse bajo vegetación densa cuando el viento aumenta, coincidiendo con el uso dominante de estructuras vegetativas observado en este estudio. Respecto a la radiación solar, los resultados no mostraron una relación clara con la frecuencia de visitas.

En conjunto, estos resultados respaldan parcialmente ambas hipótesis, sugiriendo que la actividad y las preferencias de los lepidópteros están moduladas tanto por características microclimáticas de las plantas, como por las condiciones climáticas locales, respondiendo de manera coherente a la variación climática, particularmente a la temperatura ambiental y la velocidad del viento.

Bladon et al. (2020), evidenciaron que las distintas especies de mariposas ocuparían principalmente dos mecanismos termorregulatorios: la **selección de microclimas** y la **termoregulación conductual activa**, y concluyó que algunas especies dependerían fuertemente del microambiente térmico,

mientras que otras especies tendrían una mayor independencia del ambiente por mecanismos de termoregulación conductual más efectivos. Especies de la familia Pieridae exhibieron mayor independencia del entorno térmico, mientras que las de Nymphalidae mostraron una mayor dependencia del entorno térmico inmediato. Esto puede estar dado por la coloración alar, familias con especies predominantemente pálidas, como Pieridae, poseen mayor reflectancia, y, por ende, una mejor capacidad para regular la temperatura mediante dispersión de la radiación solar. En contraste, familias con especies de tonalidades oscuras, como Nymphalidae, absorben más radiación y alcanzan temperaturas corporales más altas. Asimismo, otros estudios de Wasserthal, 1975; Pivnick & McNeil, 1986; Rutowski et al., 1994; Kemp & Krockenberger, 2002, refuerzan esta variedad de mecanismos para termoregulación conductual en mariposas y destacan su habilidad para seleccionar microclimas más fríos o cálidos (Rutowski et al., 1994; Suggitt et al., 2012; Kleckova et al., 2014; Kleckova & Klecka, 2016; Hayes et al., 2019).

Aplicado este estudio, es posible que mariposas pálidas como *Hypsochila argyrodice* (Pieridae), sean más capaces eficientes para aprovechar la alta reflectancia de sus alas para modular tanto la ganancia y la pérdida de calor.

Al abrir sus alas bajo condiciones cálidas, disiparían el exceso de radiación al aire, mientras que, al inclinarlas hacia arriba en ambientes fríos, podrían concentrar la radiación en el tórax, permitiéndoles calentarse más rápido (Shanks et al., 2015). Por el contrario, especies de mariposas de coloración más oscura, como *Cosmosatyrus leptoneuroides* (Nymphalidae), probablemente se beneficien de su mayor absorción de radiación solar para calentarse en microhábitats protegidos del viento, disminuyendo la pérdida de calor por convección al aire. Este patrón resulta coherente con los resultados de este estudio, donde *Cosmosatyrus leptoneuroides* y *Festuca gracillima* concentraron la mayoría de las interacciones registradas, lo que sugiere un uso preferencial de estos refugios térmicos. En consecuencia, la temperatura ambiental junto a la estructura del mosaico térmico generado por la vegetación interactúan para modular la intensidad y persistencia de las interacciones planta-lepidóptero. La fuerte asociación del gremio de mariposas diurnas con los microhábitats formados por *Festuca gracillima*, junto a su capacidad de planta nodriza, corrobora que la estructura del coironal actúa como un filtro ecológico que condiciona la permanencia de mariposas en la estepa fueguina.

11. CONCLUSIÓN

Si bien otros estudios han evaluado la capacidad termorreguladora de diversas especies de lepidópteros mediante mediciones directas de temperatura corporal en individuos vivos (Casey, 1976; Rutowski et al., 1994; Bryant et al., 2000; Ide, 2010; Kleckova et al., 2014; Kleckova & Klecka, 2016), estas comparaciones nunca han sido realizadas en comunidades completas, y tampoco suelen incluir un amplio rango de rasgos funcionales. La capacidad termorreguladora de una especie de mariposa depende de una combinación de atributos físicos (como tamaño y color alar), y de características fisiológicas y evolutivas que determinan su eficiencia térmica. Además, la mayoría de los estudios no incorpora directamente la temperatura del microambiente inmediato en el que se encuentran los individuos, la cual podría diferir drásticamente de la temperatura del aire (Bramer et al., 2018), y ser objeto de selección activa (Bladon et al., 2020).

Si bien este trabajo no evaluó directamente dichos mecanismos, los resultados permiten una interpretación ecológica complementaria sobre la ecología térmica de lepidópteros diurnos, aportando una base para futuras investigaciones orientadas a comprender cómo los rasgos térmicos, la

coloración y la estructura vegetal interactúan para determinar la persistencia de las especies en ambientes fríos y ventosos.

En el contexto actual de cambio climático, la alteración de patrones térmicos globales y locales podría modificar sustancialmente la actividad, persistencia y función ecológica de los lepidópteros diurnos y su rol como polinizadores. Dado que condiciones climáticas extremas limitan sus ventanas de actividad (Bladon et al., 2020), los microhábitats generados por especies estructuradoras como *F. gracillima* podrían adquirir un rol aún más relevante para sostener las interacciones planta-insecto en este ecosistema. En consecuencia, variaciones climáticas globales y locales, afectarían severamente a organismos ectotermos (Bladon et al., 2020), y, con ello, también a la estabilidad de las interacciones que mantienen la diversidad funcional de las comunidades de estepa patagónica.

Una de las principales limitaciones de este estudio fue la variabilidad climática propia del sitio de estudio, que restringió las oportunidades de observación a breves ventanas de condiciones favorables. Este tipo de restricción es esperable en estudios de campo en ambientes subantárticos, donde la actividad de los insectos es breve y difícil de predecir. Asimismo, la

naturaleza del diseño de muestreo y el tamaño muestral limitado pudieron reducir la significancia estadística, especialmente en las comparaciones de visitas y desacoples térmicos entre especies y estructuras vegetales. No obstante, los patrones observados, como la preferencia por *F. gracillima* y las correlaciones con temperatura ambiental y viento, son coherentes con lo descrito en la literatura, lo que sugiere que los resultados reflejan tendencias ecológicamente relevantes, más allá de restricciones estadísticas.

Otra limitación provino del alcance espacial y temporal del estudio. El estudio se desarrolló en un sitio único dentro de la estepa patagónica, la Reserva Natural Pingüino Rey, cuyas comunidades vegetales se encuentran en proceso de restauración pasiva tras décadas de uso ganadero, lo que difiere mucho respecto del resto de la estepa patagónica, donde las comunidades vegetales se encuentran sometidas a la presión que ejerce la ganadería ovina. Por ellos, los resultados deben interpretarse como una aproximación inicial a las interacciones planta-lepidóptero en Tierra del Fuego. Además, la ocurrencia de un evento meteorológico extremo, con vientos superiores a 80 km/h por casi dos semanas, redujo drásticamente la abundancia de mariposas y limitó el registro de interacciones, destacando la vulnerabilidad de estas comunidades a perturbaciones climáticas agudas.

Otro aspecto no considerado fue la disponibilidad de néctar ni el contenido energético de las flores, factores que podrían influir en la preferencia de los lepidópteros y complementar los hallazgos relacionados a atributos térmicos. Futuras investigaciones que integren variables florales (morfología, color, propiedades del néctar) junto con mediciones de microclimas locales permitirían comprender con mayor precisión la base funcional de las preferencias observadas.

A pesar de estas limitaciones, este trabajo constituye una contribución pionera al conocimiento sobre interacciones planta-insecto en ecosistemas subantárticos, escasamente estudiados y de alta vulnerabilidad climática. Los resultados destacan la importancia de especies vegetales estructuradoras en la configuración del mosaico térmico y en la provisión de refugios no sólo para otras plantas, sino también para insectos ectotermos.

Futuras líneas de investigación podrían abordar el monitoreo a largo plazo de las comunidades de lepidópteros, evaluar la influencia de especies exóticas como *Bombus terrestris* sobre las redes de interacciones locales y profundizar en cómo las variaciones térmicas a escala microespacial afectan la estabilidad de las interacciones planta-insecto. Además, el uso combinado de

termografías, sensores microclimáticos y modelos de nicho térmico ofrecen un enfoque integral para evaluar la resiliencia funcional de los polinizadores frente al cambio climático en ecosistemas subantárticos.

12. LITERATURA CITADA

- Aizen, M. A., Vázquez, D. P. & Smith-Ramírez, C. 2002. Historia natural y conservación de los mutualismos planta-animal del bosque templado de Sudamérica austral. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75(1), 79-97. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2002000100008>
- Albor, C., García-Franco, J. G., Parra-Tabla, V., Díaz-Castelazo, C. & Arceo-Gómez, G. 2019. Taxonomic and functional diversity of the co-flowering community differentially affect *Cakile edentula* pollination at different spatial scales. *Journal of Ecology*. doi:10.1111/1365-2745.13183
- Begon, M., Townsend, C. R. & Harper, J. L. 2005. *Ecology. From individuals to Ecosystems*. 20 Fourth Edition. Blackwell Publishing Ltd, US.
- Benyamini, D., Ugarte, A. & Bálint, Z. 2019. An updated list of the butterflies of Chile (Lepidoptera, Papilionoidea and Hesperioidea) including distribution, flight period, conservation status and comments on biology. Part III/1, subfamily Polyommatainae (Lycaenidae), with descriptions of three new species of *Pseudolucia*. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 68(1–2), 131–181. <https://doi.org/10.54830/bmnhn.v68.n2.2019.54>

- Benyamini, D., Ugarte, A., Shapiro, A. M., Mielke, O. H. H., Pyrcz, T. & Bálint, Z. 2014. An updated list of the butterflies of Chile (Lepidoptera, Papilionoidea and Hesperioidea) including distribution, flight period and conservation status. Part I, comprising the families: Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae (in part) and Hesperidae. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 63, 9–31.
- Bonebrake, T. C., Boggs, C. L., Stamberger, J. A., Deutsch, C. A. & Ehrlich, P. R. 2014. From global change to a butterfly flapping: Biophysics and behaviour affect tropical climate change impacts. *Proceedings of the Royal Society B*, 281, 20141264. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1264>
- Boulangéat, I., Gravel, D. & Thuiller, W. 2012. Accounting for dispersal and biotic interactions to disentangle the drivers of species distributions and their abundances. *Ecology Letters*, 15(6), 584–593. doi:10.1111/j.1461-0248.2012.01772.x
- Bladon, A. J., Donald, P. F., Jones, S. E. I., Collar, N. J., Deng, J., Dadacha, G. & Green, R. E. 2019. Behavioural thermoregulation and climatic range restriction in the globally threatened Ethiopian Bushcrow *Zavattariornis stresemanni*. *Ibis*, 161, 546–558. <https://doi.org/10.1111/ibi.12660>

- Bladon, A. J., Lewis, M., Bladon, E. K., Buckton, S. J., Corbett, S., Ewing, S. R., Hayes, M. P., Hitchcock, G. E., Knock, R., Lucas, C., Mcveigh, A., Menéndez, R., Walker, J. M., Fayle, T. M. & Turner, E. C. 2020. How butterflies keep their cool: Physical and ecological traits influence thermoregulatory ability and population trends. *Journal of Animal Ecology*, 89(11), 2440–2450. Portico. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13319>
- Bramer, I., Anderson, B. J., Bennie, J., Bladon, A. J., De Frenne, P., Hemming, D. & Gillingham, P. K. 2018. Advances in monitoring and modelling climate at ecologically relevant scales. In D. A. Bohan, A. J. Dumbrell, G. Woodward, & M. Jackson. Eds. *Advances in ecological research* (pp. 101–161). <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2017.12.005>
- Bronstein, J.L. 1994. Our current understanding of mutualism. *Q. Rev. Biol.*, 69, 31–51.
- Bronstein, J. L., Alarcón, R. & Geber, M. 2006. The evolution of plant-insect mutualisms. *New Phytologist*, 172(3), 412–428. doi:10.1111/j.1469-8137.2006.01864.x
- Bruno, J.F., Stachowicz, J. J. & Bertness, M. D. 2003. Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends Ecol. Evol.*, 18, 119–125.

- Bryant, S. R., Thomas, C. D. & Bale, J. S. 2000. Thermal ecology of gregarious and solitary nettle-feeding nymphalid butterfly larvae. *Oecologia*, 122(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/PL00008825>
- Casey, T. M. 1976. Activity patterns, body temperature and thermal ecology in two desert caterpillars (Lepidoptera: Sphingidae). *Ecology*, 57(3), 485–497. <https://doi.org/10.2307/1936433>
- Chase, J. M. & Leibold, M. A. 2003. *Ecological Niches*. Chicago University Press, Chicago.
- Chesson, P. 2000. Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 31, 343–366.
- Clench, H. K. 1966. Behavioral Thermoregulation in Butterflies. *Ecology*, 47(6), 1021–1034. doi:10.2307/1935649
- Cómbita, J. L., Giraldo, C. E. & Escobar, F. 2022. Environmental variation associated with topography explains butterfly diversity along a tropical elevation gradient. *Biotropica*, 54, 146–156. <https://doi.org/10.1111/btp.13040>

Cooley, J. R. 1995. Floral Heat Rewards and Direct Benefits to Insect Pollinators. *Annals of the Entomological Society of America*, 88(4), 576–579. doi:10.1093/aesa/88.4.576

De Frenne, P., Zellweger, F., Rodríguez-Sánchez, F., Scheffers, B. R., Hylander, K., Luoto, M., Vellend, M., Verheyen, K. & Lenoir, J. 2019. Global buffering of temperatures under forest canopies. *Nature Ecology & Evolution*, 3(5), 744–749. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0842-1>

De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B. R., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M. B., Christiansen, D. M., Decocq, G., De Pauw, K., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klings, D. H., Koelemeijer, I. A., Lembrechts, J. J., Marrec, R. & Hylander, K. 2021. Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology*, 27(11), 2279–2297. Portico. <https://doi.org/10.1111/gcb.15569>

Domínguez, E., Pérez, C., Suárez, A., Lira, R., Ivelic-Sáez, J., et al. 2019. Manual para estimar la cantidad de forraje disponible en pastizales naturales: Una herramienta necesaria para un uso racional de estos ecosistemas. Instituto de

Investigaciones Agropecuarias (INIA). Centro Regional de Investigación
Kampenaiké. Punta Arenas, Chile. Boletín INIA N° 401.

Dreisig, H. (1995). Thermoregulation and flight activity in territorial male
graylings, *Hipparchia semele* (Satyridae), and large skippers, *Ochlodes*
venata (Hesperiidae). *Oecologia*, 101(2), 169–176. [https://
doi.org/10.1007/BF00317280](https://doi.org/10.1007/BF00317280)

Dyer, A. G., Whitney, H. M., Arnold, S. E. J., Glover, B. J. & Chittka, L. 2006. Bees
associate warmth with floral colour. *Nature* 442: 525.

Fick, S. E. & Hijmans, R. J. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate
surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12),
4302–4315. doi:10.1002/joc.5086

Ghazanfar, M., Malik, M. F., Hussain, M., Iqbal, R. & Younas, M. 2016. Butterflies
and Their Contribution in Ecosystem: A Review. *Journal of Entomology and*
Zoology Studies, 4, 115-118.

Hayes, M. P., Hitchcock, G. E., Knock, R. I., Lucas, C. B. H. & Turner, E. C. 2019.
Temperature and territoriality in the Duke of Burgundy butterfly, *Hamearis*
lucina. *Journal of Insect Conservation*, 23(4), 739–750.
<https://doi.org/10.1007/s10841-019-00166-6>

- Herrera, C. 1995. Floral biology, microclimate, and pollination by ectothermic bees in an early-blooming herb. *Ecology*, 76(1), pp. 218-228. Ecological Society of America.
- Herrera, C. M. & Pellmyr, O. 2009. *Plant-Animal Interactions: An Evolutionary Approach*. Ed. John Wiley & Sons. ISBN 1444312294.
- Huey, R. B. & Kingsolver, J. G. 1989. Evolution of thermal sensitivity of ectotherm performance. *Trends in Ecology & Evolution*, 4(5), 131–135. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(89\)90211-5](https://doi.org/10.1016/0169-5347(89)90211-5)
- Ide, J.-Y. 2002. Seasonal changes in the territorial behaviour of the satyrine butterfly *Lethe diana* are mediated by temperature. *Journal of Ethology*, 20(1), 71–78. <https://doi.org/10.1007/s10164-002-0056-9>
- Ide, J. 2010. Weather factors affecting the male mate-locating tactics of the small copper butterfly (Lepidoptera: Lycaenidae). *European Journal of Entomology*, 107, 369–376. <https://doi.org/10.14411/eje.2010.046>
- Kaspari, M., Clay, N. A., Lucas, J., Yanoviak, S. P. & Kay, A. 2015. Thermal adaptation generates a diversity of thermal limits in a rainforest ant community. *Glob Change Biol* 21:1092–102.

- Kearney, M., Shine, R. & Porter, W. P. 2009. The potential for behavioral thermoregulation to buffer “cold-blooded” animals against climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences United States of America*, 106, 3835–3840. <https://doi.org/10.1073/pnas.0808913106>
- Kevan, P.G. 1972. Insect Pollination of High Arctic Flowers. *Journal of Ecology*, 60, 831-847. <https://doi.org/10.2307/2258569>
- Kevan, P. G. 1975. Sun-tracking solar furnaces in high arctic flowers: significance for pollination and insects. *Science* 189: 723–726.
- Kleckova, I. & Klecka, J. 2016. Facing the heat: Thermoregulation and behaviour of lowland species of a cold-dwelling butterfly genus: *Erebia*. *PLoS ONE*, 11(3), e0150393. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150393>
- Kleckova, I., Konvicka, M. & Klecka, J. 2014. Thermoregulation and microhabitat use in mountain butterflies of the genus *Erebia*: Importance of fine-scale habitat heterogeneity. *Journal of Thermal Biology*, 41, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.02.002>
- Kemp, D. J. & Krockenberger, A. K. 2002. A novel method of behavioural thermoregulation in butterflies: Thermoregulation in butterflies. *Journal of*

Evolutionary Biology, 15, 922–929. <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.2002.00470.x>

Van Der Kooi, C. J., Kevan, P. G. & Koski, M. H. 2019. The thermal ecology of flowers. *Annals of Botany*. doi:10.1093/aob/mcz073

Korňan, M. & Kropil, R. 2014. What are ecological guilds? Dilemma of guild concepts. *Russian Journal of Ecology*, 45(5), 445–447. doi:10.1134/s1067413614050178

Lara, A., Villalba, R., Wolodarsky-Franke, A., Aravena, J. C., Luckman, B. H., et al. 2005. Spatial and temporal variation in *Nothofagus pumilio* growth at tree line along its latitudinal range (35°40'–55° S) in the Chilean Andes. *Journal of Biogeography* 32: 879–893

Laird-Hopkins, B. C., Ashe-Jepson, E., Basset, Y., Arizala Cobo, S., Eberhardt, L., Freiberga, I., Hellon, J., Hitchcock, G. E., Kleckova, I., Linke, D., Lamarre, G. P. A., Mcfarlane, A., Savage, A. F., Turner, E. C., Zamora, A. C., Sam, K. & Bladon, A. J. 2023. Thermoregulatory ability and mechanism do not differ consistently between neotropical and temperate butterflies. *Global Change Biology*, 29, 4180–4192. <https://doi.org/10.1111/gcb.16797>

- Latty, T. & Trueblood, J. S. 2020. How do insects choose flowers? A review of multi-attribute flower choice and decoy effects in flower-visiting insects. *Journal of Animal Ecology*, 89(12), 2750–2762. Portico. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13347>
- Lembrechts, J. J., Lenoir, J., Roth, N., Hattab, T., Milbau, A., Haider, S. & Nijs, I. 2019. Comparing temperature data sources for use in species distribution models: From in-situ logging to remote sensing. *Global Ecology and Biogeography*, 28(11), 1578–1596. <https://doi.org/10.1111/geb.12974>
- Lortie, C. J., Brooker, R. W., Callaway, R. M., Choler, P., Kikvidze, Z. & Michalet, R. 2004. Rethinking plant community theory. *Oikos*, 107, 433–438.
- Medel, R., Aizen, M. A. & Zamora, R. 2009. *Ecología y evolución de interacciones planta-animal*. 1ra ed. Editorial Universitaria, S. A. Santiago, Chile.
- Micra. 2015. *Pequeña Guía de campo. Mariposas de Chile*. 1ra Ed, Santiago, Chile.
- Molina, J. A., Lumbreras, A., Benavent-González, A., Rozzi, R. & Sancho, L. G. 2016. Plant communities as bioclimate indicators on Isla Navarino, one of the southernmost forested areas of the world. *Gayana Botánica*. 73(2): 391-401.

- Moore, D. M. 1974. Catálogo de las plantas vasculares nativas de Tierra del Fuego. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 5(1–2), 7–110.
- Nepi, M., Grasso, D. A. & Mancuso, S. 2018. Nectar in Plant–Insect Mutualistic Relationships: From Food Reward to Partner Manipulation. *Frontiers in Plant Science*, 9. doi:10.3389/fpls.2018.01063
- Oke, T. R. 1989. *Boundary layer climates*. London: Routledge.
- Pincebourde, S., & Woods, H. A. 2012. Climate uncertainty on leaf surfaces: the biophysics of leaf microclimates and their consequences for leaf-dwelling organisms. *Functional Ecology*, 26(4), 844–853. Portico. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2012.02013.x>
- Pincebourde, S. & Casas, J. 2015. Warming tolerance across insect ontogeny: influence of joint shifts in microclimates and thermal limits. *Ecology*, 96(4), 986–997. doi:10.1890/14-0744.1
- Pincebourde, S., Murdock, C. C., Vickers, M. & Sears, M. W. 2016. Fine-Scale Microclimatic Variation Can Shape the Responses of Organisms to Global Change in Both Natural and Urban Environments. *Integrative and Comparative Biology*, 56(1), 45–61. doi:10.1093/icb/icw016

- Pincebourde, S. & Woods, H. A. 2020. There is plenty of room at the bottom: Microclimates drive insect vulnerability to climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 41, 63–70.
- Pivnick, K. A. & Mcneil, J. N. 1986. Sexual differences in the thermoregulation of *Thymelicus lineola* adults (Lepidoptera: Hesperidae). *Ecology*, 67(4), 1024–1035. <https://doi.org/10.2307/1939825>
- Porter, W. P. & Gates, D. M. 1969. Thermodynamic equilibria of animals with environment. *Ecol Monogr* 39:227–44.
- Pyrcz, T. W., Ugarte, A., Boyer, P., Shapiro, A. M. & Benyamini, D. 2016. An updated list of the butterflies of Chile (Lepidoptera, Papilionoidea) including distribution, flight periods and conservation status. Part II, subfamily Satyrinae (Nymphalidae), with the descriptions of new taxa. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 65, 31–67.
- Sears, M. W & Angilletta, M. J. JR. 2015. Costs and benefits of thermoregulation revisited: both the heterogeneity and spatial structure of temperature drive energetic costs. *Am Nat* 185:E94–E102.
- Seymour, R. S., Gibernau, M., & Ito, K. 2003. Thermogenesis and respiration of inflorescences of the dead horse arum *Heliconia muscivora*, a pseudo-

- thermoregulatory aroid associated with fly pollination. *Functional Ecology*, 17(6), 886–894. Portico. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2003.00802.x>
- Shanks, K., Senthilarasu, S., Ffrench-Constant, R. H. & Mallick, T. K. 2015. White butterflies as solar photovoltaic concentrators. *Scientific Reports*, 5, 12267. <https://doi.org/10.1038/srep12267>
- Sheikh, A. A., Rehman, N. & Kumar, R. 2017. Diverse adaptations in insects: A Review. *Journal of entomology and zoology studies*, 5, 343-350.
- Simberloff, D. & Dayan, T. 1991. The Guild Concept and the Structure of Ecological Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 22, 115–143. <http://www.jstor.org/stable/2097257>
- Stachowicz, J. J. 2001. Mutualism, facilitation, and the structure of ecological communities. *Bioscience*, 51, 235–246.
- Suggitt, A. J., Stefanescu, C., Páramo, F., Oliver, T., Anderson, B. J., Hill, J. K. & Thomas, C. D. 2012. Habitat associations of species show consistent but weak responses to climate. *Biology Letters*, 8(4), 590–593. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0112>

Suggitt, A. J., Wilson, R. J., Isaac, N. J. B., Beale, C. M., Auffret, A. G., August, T. & Maclean, I. M. D. 2018. Extinction risk from climate change is reduced by microclimatic buffering. *Nature Climate Change*, 8(8), 713–717. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0231-9>

Oliver, T., Hill, J. K., Thomas, C. D., Brereton, T., & Roy, D. B. 2009. Changes in habitat specificity of species at their climatic range boundaries. *Ecology Letters*, 12(10), 1091–1102. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01367.x>

Ollerton, J., Winfree, R. & Tarrant, S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. doi:10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x

Ollerton, J. 2017. Pollinator diversity: distribution, ecological function, and conservation. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 48, 353–376. doi:10.1146/annurevecolsys-110316-022919

Ramos-González, M. 2017. Las mariposas (Insecta: Lepidoptera) depositadas en el Museo de Historia Natural de Concepción, Chile. Colecciones Digitales, Subdirección de Investigación de DIBAM. www.museodehistorianaturaldeconcepcion.cl/640/w3-article-82980.html

- Root, R. B. 1967. The niche exploitation pattern of the Bluegray Gnatcatcher, *Ecol. Monogr.*, vol. 37, pp. 317–350.
- Rusti, D., Ugarte, A. & Teillier, S. 2017. *Mariposas. Reserva Biológica Huilo Huilo. Guía para la identificación de las especies.* Fundación Huilo Huilo. Editora e Imprenta Maval SPA, Santiago, Chile.
- Rutowski, R. L., Demlong, M. J. & Leffingwell, T. (1994). Behavioural thermoregulation at mate encounter sites by male butterflies (*Asterocampa leilia*, Nymphalidae). *Animal Behaviour*, 48(4), 833–841.
<https://doi.org/10.1006/anbe.1994.1307>
- Traveset, A., & Richardson, D. M. 2014. Mutualistic Interactions and Biological Invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45(1), 89–113. doi:10.1146/annurev-ecolsys-120213-091857
- Thomas, J. A., & Simcox, D. J. 2005. Contrasting management requirements of *Maculinea arion* across latitudinal and altitudinal climatic gradients in west Europe. In J. Settele, E. Kuehn, & J. A. Thomas (Eds.), *Studies on the ecology and conservation of butterflies in Europe* (pp. 240–244). Sofia: Pensoft Publishers.

- Valle, S., Radic, S. & Casanova, M. 2015. Suelos asociados a tres comunidades vegetales de pastoreo importantes en Patagonia Sur. *Agro Sur*. 43(2): 89-99.
Doi: 10.4206/agrosur.2015.v43n2-10
- Vázquez, D. P., Lomáscolo, S. B, Maldonado, M. B, Chacoff, N. P., Dorado, J., Stevani, E. L. & Vitale, N. L. 2012. The strength of plant–pollinator interactions. *Ecology*, 93(4), 719–725. doi:10.1890/11-1356.1
- Vázquez, D. P., Ramos-Jiliberto, R., Urbani, P. & Valdovinos, F. S. 2015. A conceptual framework for studying the strength of plant-animal mutualistic interactions. *Ecology Letters*, 18(4), 385–400. doi:10.1111/ele.12411
- Vellend, M., Verheyen, K., Flinn, K. M., Jacquemyn, H., Kolb, A. & Van Calster, H., et al. 2007. Homogenization of forest plant communities & weakening of species–environment relationships via agricultural land use. *J. Ecol.*, 95, 565–573.
- Vickers, M., Manicom, C. & Schwarzkopf, L. 2011. Extending the cost-benefit model of thermoregulation: high-temperature environments. *Am Nat* 177:452–61.
- Vidal, O., Rosenfeld, G., Santin, J., Latorre, J., Muñoz-Arriagada, R. & Fernández, A. 2023. Flora de la Reserva Natural Pingüino Rey (Tierra del Fuego, Chile):

criterios y narrativas para la selección de plantas carismáticas. *Gayana Botánica*, 80(1), 1-15. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432023000100001>

Wasserthal, L. T. 1975. The role of butterfly wings in regulation of body temperature. *Journal of Insect Physiology*, 21(12), 1921–1930. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(75\)90224-3](https://doi.org/10.1016/0022-1910(75)90224-3)

Webb, P. N. & Harwood, D. M. 1993. Pliocene fossil *Nothofagus* (southern beech) from Antarctica: phytogeography, dispersal strategies, and survival in high latitude glacial deglacial environments. In: J. Alden, J.L. Mastrantonio & S. Odum (eds.), *Forest development in cold climates*. pp. 135-165. Plenum Press, New York,

Willcox, B. K., Aizen, M. A., Cunningham, S. A., Mayfield, M. M. & Rader, R. 2017. Deconstructing pollinator community effectiveness. *Current Opinion in Insect Science*, 21, 98–104. doi:10.1016/j.cois.2017.05.012

Willmer, P. G. 1983. Thermal constraints on activity patterns in nectar-feeding insects. *Ecological Entomology*, 8(4), 455–469. doi:10.1111/j.1365-2311.1983.tb00524.x

- Wright, A. J. & Francia, R. M. 2024. Plant traits, microclimate temperature and humidity: A research agenda for advancing nature-based solutions to a warming and drying climate. *Journal of Ecology*, 112, 2462–2470. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14313>
- Woods, H. A. 2010. Water loss and gas exchange by eggs of *Manduca sexta*: trading off costs and benefits. *J Insect Physiol* 56:480–7.
- Woods, H. A. 2013. Ontogenetic changes in the body temperature of an insect herbivore. *Func Ecol* 27:1322–31.
- Woods, H. A., Dillon, M. E. & Pincebourde, S. 2015. The roles of microclimatic diversity and of behavior in mediating the responses of ectotherms to climate change. *Journal of Thermal Biology*, 54, 86–97. [doi:10.1016/j.jtherbio.2014.10.002](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.10.002)
- Zhang, Z. Q. 2013. Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (addenda 2013). *Zootaxa*, 3703, 1-82. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3703.1.6>