



UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
INSTITUTO DE ENTOMOLOGÍA



Tesis: Estudio temporal de factores bióticos y abióticos que inciden en la diversidad de abejas nativas en cuatro regiones de Chile

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
ENTOMOLOGÍA

Por:

Héctor Fuenzalida Torres

Director de Tesis

Luis Flores Prado

SANTIAGO – CHILE

Enero 2025

INSTITUTO DE ENTOMOLOGÍA UMCE
INFORME DE APROBACIÓN
TESIS DE MAGÍSTER

Se informa al Instituto de Entomología que la Tesis de Magíster presentada por el candidato,

Héctor Fuenzalida Torres

Ha sido aprobada por la comisión de evaluación de la tesis como requisito para optar al Grado de Magíster en Ciencias con Mención en Entomología en el examen de Defensa de Tesis rendido el día 22, de abril del año 2025.

Director de Tesis:

Dr. Luis Flores Prado

Calificación:

Firma:

Comisión evaluadora de Tesis:

Dra. Maureen Murúa

Calificación:

Firma:

Dr. Antonio Rivera

Calificación:

Firma:



IDENTIFICACIÓN DE TESIS/INVESTIGACIÓN

Título de la tesis: Estudio temporal de factores bióticos y abióticos que inciden en la diversidad de abejas nativas en cuatro regiones de Chile.

Fecha: 15/04/25

Facultad: Ciencias Básicas

Departamento: Instituto de Entomología.

Programa: Magíster en Ciencias con Mención en Entomología.

Grado: Magíster en Ciencias con Mención en Entomología.

Profesor Director de Tesis: Luis Flores Prado

AUTORIZACIÓN

Se autoriza la reproducción total o parcial de este trabajo de investigación para fines académicos por cualquier medio o procedimiento, siempre que se haga la referencia bibliográfica que acredite el presente trabajo y sus autores/as, y a su vez el alojamiento de éste en el repositorio institucional SIBUMCE del sistema de bibliotecas UMCE.

Héctor Fuenzalida Torres

Santiago de Chile, 15 de abril, 2025.

AGRADECIMIENTOS

Al termino de esta tesis quisiera agradecer a todo el cuerpo académico del Instituto de Entomología de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (IEUMCE), quienes durante todo el periodo de aprendizaje y realización de tesis siempre tuvieron buena disposición para ayudar en el desarrollo profesional de mi persona. Y quiero hacer un reconocimiento en específico para mi director de tesis Dr. Luis Flores Prado, quien siempre estuvo preocupado en que pudiera terminar mi tesis a pesar de los problemas que se presentaron en el camino, gracias a su cooperación y buena guía se llegó a buen término.

ÍNDICE

1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN GENERAL	7
3. CAPITULO 1	10
Título	10
Resumen	10
Introducción	12
Metodología	14
Resultados	17
Discusión	24
Conclusión	29
Agradecimientos	29
Referencias	30
4. CONCLUSIONES	35
5. ANEXOS	36

1. RESUMEN.

Las abejas nativas en el mundo se están viendo afectadas por una serie de factores de origen antrópico que amenazan su biodiversidad, como la degradación de hábitats, el aumento de la temperatura, periodos de sequía prolongados y el cambio de uso de suelo. En este trabajo, de carácter retrospectivo, se analizó cómo los siguientes factores ambientales se relacionan con la riqueza de especies de abejas nativas: temperatura ambiental, temperatura de superficie del suelo, precipitaciones, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y superficie de suelo que presenta cultivos, vegetación distinta de cultivo y urbanización. Para ello, se obtuvo la riqueza de especies de abejas en distintas localidades de cuatro regiones de Chile, mediante una base de datos consolidada de dos fuentes diferentes (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Instituto de Entomología de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación). Se obtuvieron datos meteorológicos desde la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA). Se analizaron imágenes satelitales para obtener los valores de temperatura superficial del suelo y el índice NDVI. Los resultados muestran que la temperatura de superficie, temperatura ambiental y precipitaciones fueron las variables que presentaban un efecto negativo sobre la riqueza específica de especies de abeja. En cuanto al tipo de uso de suelo, no hubo relación estadísticamente significativa que indicara un efecto sobre la riqueza de especies de abejas, sin embargo, es una variable que proponemos debe ser estudiada con mayor profundidad y extensión de años. Además, corroboramos que la utilización de técnicas de teledetección con imágenes de buena resolución espacial resultó ser de utilidad para este tipo de estudios ecológicos.

2. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las abejas nativas son afectadas por distintos factores antrópicos a nivel global (uso del suelo, cambio climático, etc.), lo que afecta la polinización de plantaciones y de flora silvestre, por lo que realizar estudios utilizando bases de datos de abejas, permite indagar en el impacto de estos factores sobre comunidades de abejas silvestres, disminuyendo el esfuerzo de muestreo y permitiendo realizar evidenciar tendencias más generalizados (Kammerer et al., 2021). Al respecto, existe evidencia que indica que la temperatura impacta sobre la conducta de alimentación de las abejas. Las abejas pequeñas tienen mayor capacidad de alimentarse a altas temperaturas con respecto a las abejas de mayor tamaño, y estas últimas tienen una mejor tolerancia a las bajas temperaturas, lo que les permite iniciar la recolección antes en el día. A su vez, las altas temperaturas pueden limitar la capacidad de vuelo a largas distancias y aumentar la letalidad por estrés térmico en las adultas recolectoras como en las crías (Pille Arnold et al., 2024; Trani et al., 2022). Además, el tipo de uso de suelo (e.g., urbano y cultivo) impacta negativamente en la disponibilidad de lugares de anidación de las abejas. Por ejemplo, el uso de maquinarias para preparar el suelo para el cultivo, destruye los nidos de abejas nativas que anidan en este sustrato y a su vez, plantaciones intensiva y extensivas disminuyen la disponibilidad de pastizales y arbustos con flora nativa, lo que también impacta negativamente a las abejas (Smart et al., 2018).

En Chile existen más de 460 especies nativas de abejas descritas a la fecha y cerca del 70 % de ellas son endémicas (Montalva & Ruz, 2010). A través de los años las abejas chilenas han sido estudiadas mediante campañas en terreno en muchas regiones del país, realizadas por investigadores de Chile y del extranjero, y muchos de estos datos han sido sistematizados en plataformas digitales de acceso libre (López-Aliste et al., 2021a). La variedad de hábitats junto con otros factores históricos, son responsables de la gran diversidad de especies de abejas (Park et al., 2015). Chile tiene muchos hábitats contrastantes (desiertos, matorrales semiáridos, bosques esclerófilos, selvas templadas y estepas patagónicas) donde existe una gran diversidad de especies de abejas particularmente en ecosistemas de tipo mediterráneo (López-Aliste et al., 2021b; Medel et al., 2018). Sin embargo, en ciertas latitudes de Chile se registra una baja riqueza taxonómica de especies de abejas (López-Aliste et al., 2021b). Esto puede ser explicado por un sesgo espacial de muestreo, lo que implica que ciertas

áreas geográficas no han sido lo suficientemente muestreadas (Boyd et al., 2022).

Por otra parte, los factores climáticos afectan de manera importante la distribución de las abejas nativas, así como las actividades diarias que realizan, el comportamiento social, el crecimiento de los individuos y la emergencia de abejas adultas (Torres-Díaz et al. 2007; Couvillon et al. 2010; Skandalis et al. 2011; Schürch et al. 2016). En cuanto a la temperatura, se han propuesto efectos positivos, pero también negativos, sobre las abejas. En los entornos más cálidos las tasas de crecimiento de las colonias en las especies sociales son más altas, y también existe una mayor probabilidad de supervivencia. Sin embargo, aumentos excesivos de temperatura provocan efectos negativos, como una disminución en el crecimiento, la reproducción y la supervivencia (Burdine & McCluney, 2019; Geppert et al., 2023). Además, en algunas especies de abejas se ha reportado que las altas temperaturas limitan la actividad de alimentación y afectan su fisiología animal (Jaboor et al., 2022; Papanikolaou, Kühn, Frenzel, & Schweiger, 2017). Por otra parte, se ha planteado que existe un gradiente de latitud de diversidad (GLD) que explica la tendencia de la diversidad biológica mayor en regiones tropicales. Sin embargo, existen excepciones al GLD, conocido como Gradiente Latitudinal Bimodal o Inverso, como es el caso de la distribución de las especies de abejas a nivel mundial, dado que se han identificado zonas de mayor concentración (número de especies por área) en latitudes medias tanto en el hemisferio norte (30°-40°) como en el hemisferio sur (-30°), siendo el norte el que presenta una mayor riqueza por unidad de área que el sur, cuya característica en esas latitudes intermedias es tener zonas climáticas xéricas y templadas (Morales-Castilla & García-Valdés, 2014; Orr et al., 2021). Las precipitaciones también afectan a las abejas, ya que la lluvia podría tener efectos físicos directos tanto en las flores como en sus polinizadores, además de interferir con las visitas de polinización (Lawson & Rands, 2019). Sin embargo, se ha observado que la ocurrencia de precipitaciones durante las temporadas secas en ambientes xéricos, contribuyen a aumentar la riqueza específica de abejas, lo que respalda la propuesta de que algunas regiones áridas son áreas importantes para la diversidad de abejas (Orr et al., 2021).

En cuanto al suelo, este sustrato es un factor de relevancia para la sobrevivencia de las poblaciones de abejas debido a que la gran mayoría de especies de abejas en Chile anidan en suelo (Flores-Prado 2023). Por ello, el deterioro de este recurso afecta la riqueza y abundancia de especies (Lonsdorf

et al. 2009; Hopfenmüller et al. 2014; Papanikolaou et al. 2017; Antoine y Forrest 2021; Kammerer et al. 2021; Anderson et al. 2024). Respecto de las plantas, las abejas recolectan el polen y el néctar para alimentar a las larvas, y este último también es consumido por las abejas recolectoras como fuente de energía (Anderson et al., 2024; Antoine & Forrest, 2021). Por ello, los impactos negativos que las variables meteorológicas tienen sobre las plantas, afectan significativamente las interacciones planta-polinizador (Kammerer et al., 2021). Además, la disminución de la cobertura vegetal de áreas seminaturales conduce a la disminución de la riqueza y abundancia de especies de abejas silvestres (Papanikolaou et al. 2017).

En este contexto, surge la necesidad de contar con bases de datos de distintas zonas y años de muestreo, para estudiar variaciones espaciales y temporales en especies de abejas silvestres (Kammerer et al. 2021). Por otra parte, las herramientas de teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), pueden proporcionar observaciones posibles de ser utilizadas ampliamente en el estudio los servicios ecosistémicos que prestan los polinizadores (Krishnasamy et al. 2019). Tanto las herramientas brindadas por teledetección, como las bases de datos disponibles para especies de abejas nativas de Chile, fueron incorporadas en este estudio para evaluar la incidencia de variables ambientales sobre la riqueza específica de abejas, en cuatro regiones de Chile, durante una ventana temporal de nueve años.

Considerando las amenazas sobre la diversidad de abejas nativas, dentro de las que destacan los efectos del cambio climático y el cambio de uso de suelo, surge el problema de investigación respecto de si variables meteorológicas y la superficie de suelos de diferente uso, además del estado de vigor de la vegetación, afectan de forma negativa o positiva la riqueza taxonómica de especies de abejas nativas presentes en distintas localidades de diferentes regiones de Chile, durante una escala temporal en la que existen una mayor representación de registros de colecta en las bases de datos disponibles. Las preguntas de Investigación derivadas de este problema fueron: ¿Las variables meteorológicas, como la temperatura ambiental, la temperatura superficial del suelo y la pluviosidad, se asocian con la riqueza específica de abejas nativas de localidades de cuatro regiones de Chile, en una ventana temporal de nueve años? ¿Qué tipo de relación existe en el uso de suelo y el vigor de la vegetación con la riqueza específica de abejas nativas en las localidades y periodo de

estudio?

Se hipotetiza que las variables meteorológicas relevantes en aspectos de la biología de las abejas nativas, como su ciclo de vida y nidificación, se relacionan con su biodiversidad. Lo anterior será reflejado en una relación negativa entre la riqueza específica de abejas con la temperatura ambiental y de la superficie del suelo, y en una relación negativa entre la riqueza específica y la pluviosidad. Por otra parte, se hipotetiza que el uso del suelo y el estado de vigor de las plantas que se encuentran en las localidades donde se colectaron las abejas, se asocia con su diversidad, de modo que se espera una relación negativa entre la superficie territorial de ambientes con alta intervención antrópica y la riqueza específica de abejas.

3. CAPÍTULO 1

Título

“Factores ambientales que inciden en la diversidad de abejas nativas en cuatro regiones de Chile”

Resumen

Las abejas nativas en el mundo se están viendo afectadas por una serie de factores ambientales que disminuyen su riqueza de especies y la abundancia de individuos. La fragmentación o degradación de su hábitat, el aumento de la temperatura (superficial y ambiental), la disminución de las precipitaciones que conllevan periodos de sequía prolongados y el cambio de uso de suelo que pueden ser de distintas intensidades, pero que finalmente afectan el hábitat de los polinizadores y su diversidad. En este trabajo retrospectivo, se revisó como afecta a la riqueza de especies de abejas nativas factores ambientales como: temperatura ambiental, temperatura de superficie, precipitaciones, cultivos, vegetación distinta a cultivos y la urbanización, mediante una base de datos consolidada de dos fuentes diferentes (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Instituto de Entomología de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación), datos meteorológicos obtenidos de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y de la Dirección General de Aguas (DGA), y las imágenes satelitales Landsat 5 correspondiente a las cuatro regiones estudiadas para obtener

los valores de temperatura superficial y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Los resultados muestran que la variable temperatura de superficie, fue la de mayor relación con la riqueza específica de especies y las variables temperatura ambiental y precipitaciones también evidenciaron una relación estadísticamente significativa. En cuanto a las distintas categorías de uso de suelo, no hubo relación significativa con la riqueza de especies, sin embargo, es una variable que debe ser estudiada con mayor profundidad y extensión de años. Se comprobó que la utilización de técnicas de teledetección con imágenes de buena resolución espacial, son útiles para este tipo de estudios ecológicos.

Palabras clave: Abejas nativas, Riqueza específica, Variables meteorológicas, Uso de suelo, NDVI

Abstract

Native bees around the world are being affected by a series of environmental factors that reduce their species richness and the abundance of individuals. The fragmentation or degradation of their habitat, the increase in temperature (surface and environment temperatures), the decrease in rainfall that leads to prolonged periods of drought, and the change in land use that can be of different intensities, but that affect the habitat of pollinators and their diversity. In this retrospective work, we analysed the relation between the richness of native bee species and environmental factors: ambient temperature, surface temperature, precipitation, the land use (i.e., crops, vegetation other than crops and urbanization) and the normalized difference vegetation index (NDVI). We used a consolidated database from two different sources (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Instituto de Entomología de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación). The meteorological data were obtained from the Meteorological Directorate of Chile (DMC) and the General Directorate of Waters (DGA). Satellite images obtained from the "Landsat 5" corresponding to four Chilean regions were used to calculate the values of both surface temperature and NDVI. The results showed that the surface temperature, the environmental temperature and precipitations were statistically correlated with species richness. The different categories of land use did not show a statistically correlation with species richness. However, we propose that land use is a variable that should be studied in greater depth and over a longer period. Finally, we corroborate that the images with a high spatial resolution obtained by means of remote sensing techniques are useful for

ecological studies.

Key words: Native bees, Species richness, Land use, meteorological variables, NDVI

Introducción

Las abejas nativas están amenazadas, en el mundo, por factores antrópicos como el uso del suelo y el cambio climático, fundamentalmente, lo que a su vez pone en peligro la polinización de cultivos y plantas silvestres, por lo que se requieren conjuntos de datos que abarquen diversos lugares y años de muestreo para predecir tendencias poblaciones de especies de abejas silvestres (Kammerer et al., 2021). En Chile existen más de 460 especies nativas de abejas, descritas a la fecha, representantes de cinco familias (Adrenidae, Colletidae, Megachilidae, Apidae, Halictidae) y cerca del 70 % de ellas son endémicas (Montalva & Ruz, 2010). Además, existen miles de registros a nivel nacional de capturas de especímenes de muchas especies representantes de todas las familias, presentes en distintas regiones del país, en bases de datos depositadas en plataformas Web de acceso libre, algunas vinculadas a publicaciones científicas (López-Aliste et al., 2021a). Dado su rango latitudinal y contexto biogeográfico, Chile tiene muchos hábitats contrastantes (desiertos, matorrales semiáridos, bosques esclerófilos, selvas templadas y estepas patagónicas) que, junto con otros factores históricos, son responsables de una gran diversidad de especies de abejas (Park et al., 2015).

Los factores climáticos afectan la distribución de las especies animales, incluso la variación climática en ciertas estaciones del año puede ser más importante que la variación anual (Couvillon et al., 2010). Algunas variables abióticas son más relevantes que otras para que los insectos adultos realicen sus actividades diarias. Por ejemplo, la baja temperatura es una de las principales limitaciones de la actividad de los insectos en ciertos hábitats y además, puede afectar el tiempo de desarrollo larval o incidir en cambios de comportamiento social (Torres-Díaz et al., 2007). Algunos estudios han demostrado que cuando las temperaturas primaverales son más cálidas en algunos ambientes, ocurre una emergencia más temprana de la hibernación de las abejas adultas de una población y pueden generar cambios en la sociabilidad de poblaciones de especies solitarias (Schürch et al., 2016; Skandalis et al., 2011). Considerando que se predice cambios en el clima futuro, con

inviernos más cálidos, precipitaciones más intensas en invierno y primavera, y temperaturas máximas más altas, esto implicaría temporadas más extensas de crecimiento de poblaciones, lo que estaría asociado a una menor abundancia de abejas silvestres (Kammerer et al., 2021).

El suelo es otro factor esencial para la sobrevivencia de las poblaciones de abejas por cuanto un gran número de especies construye sus nidos en este sustrato (Flores-Prado 2023). Por ello, el avance de la urbanización y el aumento del uso agrícola de suelos, utilizados principalmente en monocultivos, lo cual además está vinculado a un frecuente uso de pesticidas, implica la reducción de recursos anidación de abejas silvestres en hábitats antropogénicos, lo que puede afectar la riqueza y abundancia de especies de abejas (Lonsdorf et al. 2009; Hopfenmüller et al. 2014; Papanikolaou et al. 2017; Antoine y Forrest 2021; Kammerer et al. 2021; Anderson et al. 2024).

Respecto de la relevancia de las plantas para la diversidad de abejas, las flores producen recursos altamente consumidos; el polen y el néctar es colectado por las abejas hembras para aprovisionar a las larvas, quienes lo consumen durante su desarrollo, y el néctar además es consumido por las abejas que lo recolectan (Anderson et al., 2024; Antoine & Forrest, 2021). El estrés por calor y la sequía pueden reducir el número de flores, el volumen y la concentración del néctar, con implicancias significativas para las interacciones planta-polinizador (Kammerer et al., 2021). A su vez, como resultado de las altas temperaturas se pueden producir desacoples fenológicos entre especies de abejas y plantas cuando dichas especies no coexisten temporalmente, lo cual ocurre cuando se produce una floración anticipada producto de las altas temperaturas o cuando las abejas emergen de manera anticipada con respecto a la época en el año en que normalmente lo hacían (Gordo, 2007; Maglianesi, 2016). Además, se ha descubierto que la disminución de la cobertura vegetal de áreas seminaturales conduce a la disminución de la riqueza y abundancia de especies de abejas silvestres (Papanikolaou et al. 2017).

Considerando la necesidad de disponer de datos que abarquen diversos lugares y años de muestreo para predecir tendencias poblacionales de especies de abejas silvestres (Kammerer et al. 2021), es relevante la existencia de bases de datos depositadas en plataformas Web de acceso libre, con registros de capturas en un amplio rango espacial y temporal, que además esté vinculada a datos

biológicos de las especies de abejas (López-Aliste et al. 2021). Por otra parte, las herramientas de teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) que se han empleado en el estudio del rango y distribución de polinizadores y de cobertura vegetal, pueden proporcionar observaciones posibles de ser utilizadas ampliamente en el estudio los servicios ecosistémicos que prestan los polinizadores (Krishnasamy et al., 2019). Tanto las herramientas brindadas por teledetección, como las bases de datos disponibles para especies nativas de abejas, fueron incorporadas en este estudio para evaluar la incidencia de variables ambientales sobre la riqueza específica de abejas, en cuatro regiones de Chile, durante una ventana temporal de nueve años.

Materiales y Métodos

Base de Datos

Para la realizar este estudio se construyó una base de datos, utilizando como fuente primaria los registros de la colección de abejas silvestres de Chile de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, depositada en GBIF (López-Aliste et al., 2021b) y datos obtenidos de la colección de abejas del Instituto de Entomología de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación. La base de datos elaborada contenía la siguiente información: Familia, Especie, Localidad, Región, Coordenadas geográficas, Fecha de captura y Número de capturas. Esta última categoría permitió conocer el número de individuos capturados de una misma especie, en una misma fecha y localidad, para reducir el tamaño de la base de datos. Así, se logró conocer qué especies fueron colectadas en cada localidad y año, y con ello se estimó el número de especies como un indicador de riqueza específica. Se descartó generar un indicador de abundancia de especies, basado en el número de ejemplares colectados por especie en una misma localidad y fecha, pues se consideró que este dato no representaba de manera confiable la abundancia relativa de cada especie, debido a que la decisión de coleccionar uno o decenas de individuos en una misma localidad y fecha, podía variar de acuerdo con el criterio de cada colector. De esta manera, se consideró que una especie se registró en una localidad, con independencia de cuántos ejemplares fueron colectados.

Además, revisada la base de datos elaborada y la disponibilidad de imágenes satelitales, se dispuso un periodo de estudio de nueve años, desde 1984-1992, divididos en 3 trienios. Se excluyeron los años previos a 1984, debido a la baja disponibilidad de imágenes satelitales, y posteriores a 1992,

debido a la escasez de registro de abejas en localidades de varias regiones a partir de esa fecha. Se agruparon los datos en trienios, como rango mínimo temporal para detectar cambios.

Área de Estudio

Analizada la información con los criterios aplicados, se seleccionaron cuatro regiones de Chile: Atacama, Coquimbo, Metropolitana y Maule, según la división político-administrativa de Chile, siendo Atacama y Coquimbo pertenecientes a la Macrorregión del Norte Chico, con un clima árido y polar (altura), y en menor orden templado, y las regiones de Metropolitana y del Maule pertenecientes a la Macrorregión Zona Central, con un clima templado, y en menor presencia el clima del este y el clima árido (Sarricolea et al., 2017). En las regiones elegidas se estableció como unidad muestral las localidades: Caldera, Castilla, Travesía, Coquimbo, La Serena, Panguel, Vicuña, Caleu, Curacaví, El Arrayan, La Obra, La Parva, Parque Nacional Río Clarillo, Santiago, Ñuñoa, Estero La Jaula, Los Queñes. El tamaño de la muestra correspondió a 17 localidades. Las regiones y localidades no corresponden a variables independientes (categóricas) que se incluyan en los análisis. A continuación, se identifican las variables independientes y la variable dependiente del estudio.

Variables de Estudio

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada previamente y considerando el acceso a los datos recopilados, se estableció como variable dependiente la Riqueza total de especies, en cada localidad y trienio y como variables independientes la temperatura ambiente, la temperatura de superficie, las precipitaciones, el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y la cobertura espacial de tres categorías de usos de suelo (Urbano, Cultivo y Vegetación excluyendo cultivo).

Los datos de temperatura ambiente y precipitaciones se obtuvieron de los registros de las estaciones meteorológicas de la dirección general de aguas (Dirección General de Aguas, 2024) y la dirección meteorológica de Chile (Dirección Meteorológica de Chile, 2024). Ambas instituciones tienen una red amplia de estaciones cercanas a las localidades, que cubren el periodo de tiempo seleccionado, están instaladas entre 1,2 a 2 metros del suelo, y son de acceso gratuito. La temperatura de superficie (LST) es un parámetro que representa la temperatura superficial del suelo y se obtuvo mediante el procesamiento de la banda 6 de las imágenes del satélite Landsat 5. Estas imágenes pertenecen a la colección Landsat 2 Nivel 1 (United States Geological Survey, 2024), y fueron

descargadas de forma gratuita desde el portal EarthExplorer, cortesía del Servicio geológico de Estados Unidos, y cuentan con un nivel de procesamiento que permite su uso inmediato para fines científicos. Para obtener los valores de LST se utilizó el plugin RSyGIS v1.2 (Prathamesh Barane, G S Dwarakish, 2022), que utiliza algoritmo del método monocanal, convirtiendo los valores de la banda 6 en temperatura, utilizando un coeficiente de calibración y corrigiendo por efectos atmosféricos. Este plugin está instalado en el SIG QGIS 3.34 Prizren (Equipo desarrollador QGIS, 2024).

Los valores de LST junto con las otras variables meteorológicas, fueron promediadas por trimestres en cada uno de los trienios. De esta manera, se obtuvo el valor promedio, para cada variable meteorológica, correspondiente a enero-marzo, abril-junio, julio-septiembre, octubre-diciembre. Esto se realizó considerando el impacto que pueden tener estas variables en el ciclo biológico y/o aspectos de la biología de las abejas. Finalmente, se generaron tres tablas trienales, donde se incluyó para cada localidad, la variable dependiente Riqueza de especies total por trienio y tres variables independientes (temperatura ambiente, temperatura de superficie, precipitaciones) por cada trimestre, lo que corresponde a 12 variables independientes trienales en total.

Para la obtención de la variable NDVI y Uso de suelo, se descargaron imágenes del satélite Landsat 5 disponibles para el periodo de años 1984-1992, que no tuviesen un porcentaje mayor de 30% de cobertura de nubes (para no afectar los datos obtenidos) y que cubrieran las áreas de las localidades estudiadas en las 4 regiones. El NDVI se calculó mediante la fórmula: $NDVI = (B04 - B03) / (B04 + B03)$, en que B04 es el NIR (infrarrojo cercano) y la B03 es la banda roja visible. Este índice sirve como indicador de la presencia de vegetación (plantas, arboles) y su estado de salud (vigor). El rango de los valores se extiende desde el -1 a 1. Los valores de -1 a 0, pueden representar agua, nieve, zonas áridas, arena, los valores de 0,2 a 0,3 representan arbustos y praderas, valores de 0,6 a 0,8 indican bosques templados y tropicales (Ver ejemplos de imágenes en Anexos).

Las variables de uso de suelo consistieron en valores de cobertura de tres categorías: urbano, cultivo y vegetación distinto de cultivo. Estos valores se obtuvieron mediante el procesamiento en QGIS de las imágenes Landsat 5 descargadas, donde se realizó una clasificación semiautomática o supervisada, que permite identificar materiales en la imagen a partir de firmas espectrales. Para este proceso secuencial se requiere, en la medida de lo posible, un conocimiento previo del terreno. Se

utilizó el plugin Semi-automatic Classification (SCP) de QGIS ejecutando los siguientes pasos: a) se definen regiones de interés (ROIs), b) se guardan los polígonos y las firmas espectrales, c) se selecciona el algoritmo de clasificación Random Forest, d) se define el umbral para mejorar los resultados, e) se hace vista previa para evaluar clasificación (se pueden agregar más ROIs para mejorar resultados), f) se editan los colores de las distintas categorías de la clasificación. Luego el plugin SCP permite en la etapa de post procesamiento, obtener un reporte de clasificación que mide el área de cada categoría en metros cuadrados (m^2), valores que fueron transformados a hectáreas (ha) para este estudio.

Luego de analizar los resultados obtenidos de la variable NDVI y las variables de uso de suelo, se decidió no evaluar los valores por trimestre, en cada periodo trienal, ya que se interpretó *a priori* que las variaciones entre trimestres debían ser mínimas y, por lo tanto, difícil de detectar. Por ello, se calculó un valor anual obtenido para el tercer trimestre (por tener a disposición una mayor cantidad de imágenes) y luego se procedió a la obtención del promedio por trienio, de cada variable. Por lo tanto, se generaron 3 tablas trienales, con las 4 variables independientes (NDVI, Urbano, Cultivo, Vegetación distinta de cultivo), y la variable dependiente Riqueza de especies total por trienio, por cada una de las 17 localidades.

Análisis estadístico

La metodología estadística comenzó primero con las tablas que incluían las 12 variables meteorológicas, por lo que se realizó un análisis de regresión lineal múltiple, y una selección de variables Stepwise del tipo Forward, utilizando el Software JAMOVI (*Jamovi*, 2024). Por restricción del software, que no permitió más de 6 variables independientes para ser analizadas (considerando el alto número de variables independientes, en proporción al bajo número de unidades de muestreo), se decidió dividir el análisis en dos grupos de variables: en el primer grupo se incluyeron las variables del primer y segundo trimestre, y en el segundo grupo las del tercer y cuarto trimestre. En el análisis de regresión, para cada grupo, se agregaron una por una las variables independientes al modelo y se consideró el valor de VIF (Valor de Inflación de la Varianza), como un estimador del grado de colinealidad entre variables, debido a que mide la proporción de la varianza de una variable

que es determinada por las otras variables independientes del modelo. Se estableció el valor 4 como límite superior, para excluir cualquier variable del modelo.

Las variables que cumplieron con el criterio VIF establecido, fueron utilizadas para realizar Modelos Lineales Generalizados (GLM) en cada trienio.

Para las tablas que incluían las variables ambientales de NDVI y usos de suelo, se realizaron los análisis de regresión lineal múltiple por cada trienio, con la selección de variables Stepwise del tipo Forward. Se agregaron una por una las variables independientes al modelo y se seleccionaron las variables que cumplieron con el criterio establecido del valor VIF no superior a 4, las que fueron utilizadas para realizar GLM en cada trienio. Para todo el análisis estadístico se utilizó el software de código abierto JAMOVI, versión 2.6.13, que es una interfaz gráfica de usuario, que permite acceder a muchas capacidades del entorno estadístico R.

Resultados

Resultados estadísticos para variables meteorológicas

Relación entre Riqueza específica de Abejas y Variables Meteorológicas, Primer Trienio

Los análisis de Regresión lineal incorporando todas las variables paso a paso (Stepwise), agrupados en los trimestres 1 y 2, y en los trimestres 3 y 4, no mostraron significancia estadística (Tabla 1). Respecto del Valor de Inflación de la Varianza, como resultado en el primer (1 y 2 trimestre) y segundo análisis (3 y 4 trimestre), las variables que tuvieron un valor inferior a 4 y, por lo tanto, fueron seleccionadas para un posterior análisis de Modelo Lineal Generalizado (GLM) fueron: 1Tº Ambiente, 1Tº Superficie, 1Precipitaciones, 2Tº Ambiente, 3Tº Ambiente, 3Tº Superficie y 4Tº Superficie (Tabla 2).

Tabla 1. Resultados estadísticos del análisis de Regresión para el Primer trienio.

Trimestre 1 y 2					
R	R ²	R ² Ajustado	AIC	BIC	p
0,496	0,246	-0,00486	122	127	0,454
Trimestre 3 y 4					
R	R ²	R ² Ajustado	AIC	BIC	p
0,763	0,581	0,268	29,9	30,3	0,278

Las variables independientes incluidas en el análisis fueron: Temperatura ambiente, Temperatura de la superficie del suelo, precipitaciones. La variable dependiente fue la Riqueza específica de abejas. Las unidades de muestreo desde donde se obtuvieron las variables independientes y la variable dependiente corresponden a las 17 localidades mencionadas en la sección área de estudio. **AIC:** Criterio de información de Akaike. **BIC:** Criterio de información Bayesiano.

Tabla 2. Valores VIF obtenidos en las Regresiones lineales

Predictor	P	VIF
1Tº Ambiente	0,399	2,07
1Tº Superficie	0,246	1,43
1 Precipitaciones	0,184	3,78
2Tº Ambiente	0,614	2,85
3Tº Ambiente	0,214	1,65
3Tº Superficie	0,103	1,14
4Tº Superficie	0,442	1,73

Al realizar un GLM incluyendo las variables del trienio que pasaron la evaluación de VIF, el programa entrega el mensaje “NaN” (poca información o error) en los parámetros “z” y “p”, por lo que se excluyó la variable 1 Precipitaciones (1trimestre), pues muestra el valor más cercano al límite VIF de las siete variables. Por ello, se volvió a efectuar el análisis GLM, pero con 6 variables independientes (Tabla 3).

Tabla 3. Modelo Lineal Generalizado, para el primer trienio, de la relación entre la Riqueza específica de Abejas y las variables ambientales seleccionadas de acuerdo con el criterio VIF.

R ²	AIC	BIC	Desviación	X ²
0.99987	-28.40500	-27.77000	0.00182	0.00182

Nombre	Estimado	SE	Z	P
Intercepto	1.250	0.01508	82.88	0.008
1Tº Ambiente	-1.001	0.14193	-7.05	0.090
1Tº Superficie	-0.268	0.01213	-22.06	0.029
2Tº Ambiente	1.722	0.12663	13.60	0.047
3Tº Ambiente	-0.582	0.14222	-4.09	0.153
3Tº Superficie	0.431	0.01220	35.35	0.018
4Tº Superficie	-0.195	0.00575	-34.01	0.019

Los resultados muestran que la temperatura de la superficie del suelo tiene un efecto significativo y negativo, sobre la riqueza específica, en el primer y cuarto trimestre. Vale decir, a mayor temperatura en los meses de enero, febrero y marzo (primer trimestre) y octubre, noviembre y diciembre (cuarto trimestre), menor es la riqueza de especies de abejas observada. Por otra parte, la misma variable muestra un efecto significativo, pero positivo, durante el tercer trimestre, lo que equivale a los meses de julio, agosto y septiembre. Esto implica que, al aumentar la temperatura en tales meses, también aumenta la riqueza específica observada.

Adicionalmente, la temperatura ambiental solo evidenció un efecto estadísticamente significativo, y positivo, en la riqueza específica de abejas, en el segundo trimestre.

Relación entre Riqueza específica de Abejas y Variables Meteorológicas, Segundo Trienio

Al igual que lo realizado para analizar los datos obtenidos para el primer trienio, se efectuaron dos análisis de Regresión lineal paso a paso para el segundo trienio, uno con las variables de los dos primeros trimestres, y otro con las variables de los dos últimos trimestres. Ambos análisis no mostraron significancia estadística (Tabla 4). Por otra parte, las variables que tuvieron un valor VIF inferior a 4 y, por lo tanto, fueron seleccionadas para un posterior análisis GLM fueron: 1Tº Ambiente, 1Tº Superficie, 1Precipitaciones, 2Tº Ambiente, 3Tº Ambiente, 3Tº Superficie, 3Precipitaciones y 4Precipitaciones (Tabla 5).

Tabla 4. Resultados estadísticos del análisis de Regresión para el Segundo trienio

Trimestre 1 y 2					
R	R ²	R ² Ajustado	AIC	BIC	p
0.298	0.0887	-0.215	117	122	0.878
Trimestre 3 y 4					
R	R ²	R ² Ajustado	AIC	BIC	p
0.317	0.100	-0.200	117	122	0.850

Las variables independientes incluidas en el análisis fueron: Temperatura ambiente, Temperatura de la superficie del suelo, precipitaciones. La variable dependiente fue la Riqueza específica de abejas. Las unidades de muestreo desde donde se obtuvieron las variables independientes y la variable dependiente corresponden a las 17 localidades mencionadas en la sección área de estudio. **AIC:** Criterio de información de Akaike. **BIC:** Criterio de información Bayesiano.

Tabla 5. Valores VIF obtenidos en las Regresiones lineales

Predictor	P	VIF
1Tº Ambiente	0.523	2.47
1Tº Superficie	0.478	1.06
1 Precipitaciones	0.929	1.14
2Tº Ambiente	0.754	2.50
3Tº Ambiente	0.444	1.95
3Tº Superficie	0.720	2.40
3 Precipitaciones	0.504	2.71
4 Precipitaciones	1.000	2.06

El posterior análisis GLM incluyendo las ocho variables del trienio que pasaron la evaluación de VIF, mostró que ninguna de las variables climáticas resultó ser estadísticamente significativa, es decir no hay un efecto de estas sobre la riqueza específica de las abejas del estudio (Tabla 6).

Tabla 6. Modelo Lineal Generalizado 2, para el segundo trienio, de la relación entre la Riqueza específica de Abejas y las variables ambientales seleccionadas de acuerdo con el criterio VIF.

R ²	AIC	BIC	Desviación	X ²
0.122	124.321	132.653	460.284	57.536

Nombre	Estimado	SE	Z	P
Intercepto	4.8235	1.840	2.6219	0.031
1Tº Ambiente	-0.6502	2.346	-0.2771	0.789
1Tº Superficie	0.4884	1.230	0.3972	0.702
1 Precipitación	-1.7814	5.667	-0.3143	0.761
2Tº Ambiente	0.7430	4.151	0.1790	0.862
3Tº Ambiente	0.2592	3.037	0.0853	0.934
3Tº Superficie	-0.1709	0.898	-0.1903	0.854
3 Precipitación	-0.0559	0.125	-0.4469	0.667
4 Precipitación	0.6208	2.053	0.3024	0.770

Relación entre Riqueza específica de Abejas y Variables Meteorológicas, Tercer Trienio

Del mismo modo que en los análisis anteriores, se agruparon las variables de los dos primeros trimestres y de los dos últimos trimestres. Los resultados de ambos análisis de Regresión lineal paso a paso, indican que no hubo significancia estadística de estas variables, es decir no hay un efecto de estas sobre la riqueza específica de las abejas del estudio (Tabla 7). Las variables que tuvieron un valor VIF inferior a 4 y, por lo tanto, fueron seleccionadas para un posterior análisis GLM fueron: 1Tº Ambiente, 1Tº Superficie, 1Precipitaciones, 2Tº Superficie, 3Tº Superficie, 3Precipitaciones, 4Tº

Ambiente y 4Tº Superficie (Tabla 8).

Tabla 7. Resultados estadísticos del análisis de Regresión para el Tercer trienio

Trimestre 1 y 2					
R	R ²	R ² Ajustado	AIC	BIC	p
0.740	0.547	0.321	73.5	76.9	0.134
Trimestre 3 y 4					
R	R ²	R ² Ajustado	AIC	BIC	p
0.309	0.0955	-0.206	105	110	0.861

Las variables independientes incluidas en el análisis fueron: Temperatura ambiente, Temperatura de la superficie del suelo, precipitaciones. La variable dependiente fue la Riqueza específica de abejas. Las unidades de muestreo desde donde se obtuvieron las variables independientes y la variable dependiente corresponden a las 17 localidades mencionadas en la sección área de estudio. **AIC:** Criterio de información de Akaike. **BIC:** Criterio de información Bayesiano.

Tabla 8. Valores VIF obtenidos en las Regresiones lineales

Predictor	p	VIF
1Tº Ambiente	0.126	2.78
1Tº Superficie	0.457	2.21
1 Precipitación	0.791	1.53
2Tº Superficie	0.036	1.94
3Tº Superficie	0.3501	3.77
3 Precipitación	0.0329	3.05
4Tº Ambiente	0.7774	2.43
4Tº Superficie	0.3557	1.97

El análisis GLM que incluyó las ocho variables del trienio que pasaron la evaluación de VIF permitió determinar que la única variable que resultó estadísticamente significativa en el modelo fue la precipitación del tercer trimestre, identificándose una relación negativa con respecto a la riqueza de especies de abejas, lo que puede estar vinculado al menor valor de precipitaciones promedio en dicho trimestre comparado con los otros trienios (Tabla 9).

Tabla 9. Modelo Lineal Generalizado 3 para el tercer trienio, de la relación entre la Riqueza específica de Abejas y las variables ambientales seleccionadas de acuerdo con el criterio VIF.

R ²	AIC	BIC	Desviación	X ²
0.867	65.597	71.247	25.395	6.349

Nombre	Estimado	SE	z	P
Intercepto	3.3846	0.6988	4.8432	0.008
1T° Ambiente	3.0220	1.2042	2.5095	0.066
1T° Superficie	0.4088	0.5600	0.7300	0.506
1 Precipitación	-0.0206	0.3517	-0.0585	0.956
2T° Superficie	0.0239	0.4290	0.0557	0.958
3T° Superficie	-1.0746	0.4550	-2.3618	0.078
3 Precipitación	-0.0715	0.0252	-2.8358	0.047
4T° Ambiente	-0.9691	1.7538	-0.5526	0.610
4T° Superficie	-2.1259	1.3010	-1.6341	0.178

Resultados estadísticos para variables de Cobertura y Uso de Suelo

Relación entre Riqueza específica de Abejas y Variables Cobertura y Uso de Suelo, Primer Trienio

Al igual que para las variables meteorológicas, se efectuó un análisis de Regresión lineal paso a paso incluyendo 4 variables independientes de cobertura y uso de suelo (el índice NDVI y la superficie de extensión suelo urbano, cultivo y vegetación excluyendo el cultivo), el cual no mostró significancia estadística que indique un efecto sobre la riqueza de específica de abejas (Tabla 10). También se estableció el valor 4 como límite superior de VIF, y las cuatro variables tuvieron valores bajo 4, en el primer trienio (Tabla 11).

Tabla 10. Resultados estadísticos del análisis de Regresión para el primer trienio

R	R ²	R ² Ajustado	AIC	BIC	p
0.594	0.353	0.137	120	125	0.229

Tabla 11. Valores VIF obtenidos en la Regresión lineal

Predictor	p	VIF
NDVI	0.155	1.04
URBANO	0.406	1.06
CULTIVO	0.268	2.22
VEGETACIÓN	0.932	2.22

Las variables independientes incluidas en el análisis fueron: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Cobertura espacial de suelo urbano, Cobertura espacial de suelo de cultivo, Cobertura de Vegetación excluyendo los cultivos. La variable dependiente fue la Riqueza específica de abejas. Las unidades de muestreo desde donde se obtuvieron las variables independientes y la variable dependiente corresponden a las 17 localidades mencionadas en la sección área de estudio. **AIC:** Criterio de información de Akaike. **BIC:** Criterio de información Bayesiano.

Los resultados del análisis GLM, incluyendo las cuatro variables del trienio que pasaron la evaluación de VIF, evidenciaron que ninguna de las variables resultó ser estadísticamente significativa que indique un efecto sobre la riqueza de específica de abejas del estudio (Tabla 12).

Tabla 12. Modelo Lineal Generalizado, para el primer trienio, de la relación entre la Riqueza específica de Abejas y las variables NDVI y de uso de suelo seleccionadas de acuerdo con el criterio VIF

R ²	AIC	BIC	Desviación	X ²
0.353	119.856	124.855	566.681	47.223

Nombre	Estimado	SE	z	P
Intercepto	3.88	1.67	2.3294	0.038
NDVI	14.48	9.53	1.5192	0.155
URBANO	-2.76e-5	3.20e-5	-0.8606	0.406
CULTIVO	8.79e-6	7.57e-6	1.1608	0.268
VEGETACIÓN	2.26e-7	2.58e-6	0.0876	0.932

Relación entre Riqueza específica de Abejas y Variables Cobertura y Uso de Suelo, Segundo Trienio

La Regresión lineal paso a paso que incluyó las 4 variables independientes correspondientes, no mostró un valor estadísticamente significativo que indique un efecto sobre la riqueza específica de abejas del estudio (Tabla 13). Las cuatro variables arrojaron un valor VIF bajo 4 en segundo trienio (Tabla 14).

Tabla 13. Resultados estadísticos del análisis de Regresión para el segundo trienio

R	R ²	R ² Ajustado	AIC	BIC	p
0.562	0.316	0.0875	112	117	0.297

Tabla 14. Valores VIF obtenidos en la Regresión lineal

Predictor	p	VIF
NDVI	0.990	1.10
URBANO	0.221	1.22
CULTIVO	0.111	3.50
VEGETACIÓN	0.075	3.58

Las variables independientes incluidas en el análisis fueron: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Cobertura espacial de suelo urbano, Cobertura espacial de suelo de cultivo, Cobertura de Vegetación excluyendo los cultivos. La variable dependiente fue la Riqueza específica de abejas. Las unidades de muestreo desde donde se obtuvieron las variables independientes y la variable dependiente corresponden a las 17 localidades mencionadas en la sección área de estudio. **AIC:** Criterio de información de Akaike. **BIC:** Criterio de información Bayesiano.

El análisis GLM muestra que ninguna de las variables resultó ser estadísticamente significativa que indique un efecto sobre la riqueza específica de las abejas del estudio, aunque la cobertura de vegetación distinta a cultivos mostró un valor p (0,075), cercano al nivel de significancia estadística ($p < 0,05$) (Tabla 15).

Tabla 15. Modelo Lineal Generalizado, para el segundo trienio, de la relación entre la Riqueza específica de Abejas y las variables NDVI y de Uso de suelos seleccionadas de acuerdo con el criterio VIF

R ²	AIC	BIC	Desviación	X ²
0.316	112.093	117.092	358.939	29.912

Nombre	Estimado	SE	z	p
Intercepto	4.8235	1.33	3.6364	0.003
NDVI	-2.61e-5	2.02e-5	-1.2920	0.221
URBANO	0.0989	7.70	0.0128	0.990
CULTIVO	-1.71e-5	9.95e-6	-1.7192	0.111
VEGETACIÓN	7.62e-6	3.91e-6	1.9484	0.075

Relación entre Riqueza específica de Abejas y Variables Cobertura y Uso de Suelo, Tercer Trienio

La Regresión lineal paso a paso no mostró un valor estadísticamente significativo (Tabla 16) y tres de las variables cumplieron con VIF bajo 4: NDVI, Suelo Urbano y Suelo de cultivo. La variable suelo con Vegetación distinta a cultivos arrojó un valor VIF=198.02, por lo que solo se consideraron las tres variables que cumplen el criterio VIF para el posterior análisis GLM (Tabla 17).

Tabla 16. Resultados estadísticos del análisis de Regresión para el tercer trienio

R	R ²	R ² Ajustado	AIC	BIC	p
0.323	0.104	-0.102	103	107	0.685

Tabla 17. Valores VIF obtenidos en la Regresión lineal

Predictor	p	VIF
NDVI	0.357	1.06
URBANO	0.504	3.47
CULTIVO	0.852	3.39

Las variables independientes incluidas en el análisis fueron: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Cobertura espacial de suelo urbano, Cobertura espacial de suelo de cultivo, Cobertura de Vegetación excluyendo los cultivos. La variable dependiente fue la Riqueza específica de abejas. Las unidades de muestreo desde donde se obtuvieron las variables independientes y la variable dependiente corresponden a las 17 localidades mencionadas en la sección área de estudio. **AIC:** Criterio de información de Akaike. **BIC:** Criterio de información Bayesiano.

El análisis GLM, muestra que ninguna de las variables resultó ser estadísticamente significativa que indique un efecto sobre la riqueza específica de las abejas del estudio (Tabla 18).

Tabla 18. Modelo Lineal Generalizado, para el tercer trienio, de la relación entre la Riqueza específica de Abejas y las variables NDVI y de Uso de suelos seleccionadas de acuerdo con el criterio VIF

R ²	AIC	BIC	Desviación	X ²
0.104	102.597	106.763	230.955	17.766

Nombre	Estimado	SE	Z	p
Intercepto	3.35	1.02	3.280	0.006
NDVI	6.48	6.79	0.955	0.357
URBANO	-1.10e-5	1.60e-5	-0.687	0.504
CULTIVO	9.21e-7	4.84e-6	0.190	0.852

Discusión

Considerando los trienios donde se evidenció efectos significativos de algunas variables meteorológicas, sobre la riqueza específica de abejas (primer y tercer trienio), los resultados muestran que la temperatura de la superficie del suelo tiene un efecto significativo y negativo, sobre la riqueza de especies, en el primer y cuarto trimestre del primer trienio. Al observar los valores promedio de las temperaturas de la superficie del suelo del primer y cuarto trimestre del primer trienio (Tabla 1 en Anexos), se observa que son mayores que las del segundo y tercer trimestre del mismo trienio, además esta variable se fue incrementando en los dos trienios siguientes (Tablas 2 y 3 en Anexos), siendo siempre mayores a las del segundo y tercer trimestre en cada trienio.

Esto implica que, a mayor temperatura de la superficie del suelo en los meses de enero, febrero y marzo (primer trimestre) y octubre, noviembre y diciembre (cuarto trimestre), menor es la riqueza de especies de abejas observada. Estos resultados podrían ser explicados debido a que, de acuerdo con información disponible para algunas especies que habitan Chile, precisamente en esos meses las abejas se encuentran principalmente en estado adulto, visitando flores y construyendo nidos (e.g., Toro et al. 1991; Chiappa y Toro 1994; Chiappa y Castro 2006; Flores-Prado et al. 2008; Montalva et al. 2011). Por otra parte, se ha planteado que las altas temperaturas ambientales tienen

efectos negativos sobre la conducta (e.g., actividad de vuelo) y/o fisiología de las abejas adultas, debido a estrés térmico o muerte por deshidratación, incluso impedir que las abejas salgan de su nido (Bishop y Armbruster 1999; Polatto et al. 2014; Trani et al. 2022), lo cual podría disminuir su presencia en los ambientes donde fueron colectadas. Así, al disminuir la presencia de abejas en los ambientes, disminuye también la probabilidad que los individuos adultos de algunas especies sean colectados. Esto no significa que la especie desaparezca localmente, solo podría ser más difícil observarla (y/o colectarla).

Adicionalmente, los efectos de la temperatura sobre la abundancia de las abejas varían entre las especies, lo que podría indicar que ciertos grupos de abejas son más propensas a modificar su fenología con cambios en la temperatura (Kammerer et al. 2021). Por ejemplo, la temperatura durante la primavera parece no afectar la abundancia de abejas, pero si la riqueza de especies (Kammerer et al. 2021). En este sentido, un estudio realizado en una localidad de Chile central (Región de Valparaíso), mostró una correlación negativa estadísticamente significativa entre la temperatura del ambiente y la riqueza específica de un conjunto de abejas nativas visitantes de *Loasa tricolor* (González-Céspedes et al., 2019).

Si bien es cierto, es la temperatura de la superficie del suelo la que mostró un efecto negativo sobre la diversidad de abejas en los meses de primavera y verano, es muy probable que estas altas temperaturas también afecten a las abejas adultas (como ocurre con la temperatura ambiental), puesto que en Chile la mayoría de las especies nidifica en el suelo (López-Aliste et al. 2021; Flores-Prado 2023), de modo que las abejas adultas pasan gran parte del tiempo construyendo sus nidos en dicho sustrato (e.g., Chiappa y Castro 2006; Flores-Prado et al. 2008).

Por otra parte, la misma variable muestra un efecto significativo, pero positivo, durante el tercer trimestre del primer trienio, lo que equivale a los meses de julio, agosto y septiembre. Muy probablemente en tales meses las abejas se encuentran en estado adulto, pero dentro de sus nidos en un estado hibernante (e.g., Flores-Prado et al. 2008; Montalva et al. 2011). Es muy probable que, frente a aumentos de temperatura en tales meses, que no corresponde al período de máximas temperaturas anuales (como sí lo es entre octubre y marzo), las abejas adultas aumentan su

actividad dentro de los nidos y comienzan a salir conforme la temperatura es mayor. La evidencia disponible indica que en algunas especies de abejas nativas los adultos en etapa pre-reproductiva pasan el invierno dentro de sus nidos, constituyendo el estado hibernantes, pero a inicios de primavera comienzan a abandonar los nidos donde se desarrollaron (Flores-Prado et al. 2008; Montalva et al. 2011).

Durante el tercer trienio, la única variable que resultó estadísticamente significativa fue la precipitación. Debido a que la relación fue de tipo negativa, se interpreta que, a mayor cantidad de precipitaciones, menor fue la riqueza específica de abejas colectadas. Como se planteó previamente, en los meses de enero, febrero y marzo las abejas se encuentran en estado adulto, aunque también dicho período se sobrepone con los últimos estados pre-imaginales de los individuos que se están desarrollando dentro de los nidos (e.g., Flores-Prado et al. 2008; Montalva et al. 2011). Por lo tanto, las abejas que se observan volando corresponden a machos y hembras que emergieron en la primavera anterior. Por otra parte, como ya se señaló, la mayor parte de las especies nativas de abejas en Chile nidifican en el suelo (López-Aliste et al. 2021; Flores-Prado 2023). Entonces, es probable que, a mayor cantidad de precipitaciones se vean afectados los individuos en desarrollo que se encuentran dentro de los nidos, los que no pueden sobrevivir durante sus últimos estadios pre-imaginales y, consecuentemente, no emergerán como adultos en la primavera siguiente. Esto también puede tener el efecto de disminuir la presencia de abejas adultas en los ambientes, y con ello, se reduce la probabilidad que los individuos de algunas especies sean colectados.

En tal sentido, se ha planteado que las precipitaciones pueden afectar la actividad de forrajeo y, cuando son extremas, causan una alta mortalidad en colonias de abejas que se encuentran dentro de sus nidos durante el invierno (Ogilvie et al., 2017).

Respecto de los resultados para las variables de uso de suelo y NDVI, en cada uno de los trienios no se evidenciaron efectos significativos sobre la riqueza específica de abejas. Sin embargo, al interpretar los valores obtenidos por las variables, en forma independiente, se puede rescatar información importante. Al respecto, los valores de NDVI obtenidos en este estudio poseen una mejor resolución espacial (30 metros), comparada con la de otros sensores satelitales como MODIS

o VIIRS (1 km-750 m), además de permitir la evaluación de la vegetación, y la clasificación del uso y cobertura del suelo en función de tal vegetación (Sohail et al. 2020).

Para la variable NDVI (Tabla 4 en Anexos), los valores promedio obtenidos para cada trienio (0,24-0,26) están dentro del rango de clasificación de vegetación rala o escasa, tales como pastizales, arbustos o cultivos en etapas de envejecimiento (USGS 2018; Hashim et al. 2019), y este tipo de vegetación, junto con las condiciones de suelo, ofrecen recursos claves para la nidificación de ciertas especies de abejas silvestres (Marshall et al. 2023). Además, existen en Chile estudios que han documentado los efectos de la megasequía que han afectado en el último milenio, y esa variabilidad climática, ha sido relacionada con las respuestas de los polinizadores y con el vigor y crecimiento de especies leñosas en matorrales y bosques nativos, provocando estrés hídrico en plantas, lo que provocaría una reducción en la producción de flores (Gajardo-Rojas et al., 2022). En esta clasificación se observa un incremento en la categoría Urbano (Tabla 4 en Anexos) desde el primer al tercer trienio. Esto es concordante con lo que reportan otros estudios, en que el cambio de uso de suelo, con el incremento de las áreas urbanas conlleva a el aumento de las temperaturas, y también reduce o fragmenta las zonas verdes (Ferrari et al., 2024; Ayers & Rehan, 2021; Wastian et al., 2016), además los insectos pueden verse afectado a nivel intraespecífico involucrando rasgos morfológicos que influyen en la aptitud de los insectos es decir rasgos funcionales, sin embargo dichos cambios requieren de más estudios para definir si es por plasticidad fenotípica o una adaptación genética (Ayers & Rehan, 2021; Ferrari & Polidori, 2022). La variable de uso de suelo para Cultivo, también presentó un incremento progresivo en las hectáreas plantadas, en todos los trienios, lo cual resulta de importancia ya que el uso agrícola intenso conduce a monocultivos y a la pérdida de diversidad biológica y el aumento de las plantaciones de pastizales afectan también la variedad florística (Wastian et al. 2016; Anderson et al. 2024). Se ha descrito que la intensificación agrícola con poca variedad de cultivos y el aumento de insumos externos como pesticidas, afectan directamente a las abejas mediante aumento de mortalidad e indirectamente por la disminución de recursos alimenticios y de nidificación (De Palma et al., 2015). Así, por ejemplo, la disminución de recursos florales puede afectar a las abejas de mayor y menor tamaño de forma diferente, ya que las abejas de mayor tamaño requieren de un mayor consumo de energía per cápita (Pille Arnold et al., 2024). La variable Vegetación distinta de cultivo fue decreciendo en los tres trienios. Esta disminución puede deberse al avance de la urbanización con la aparición de parcelas de agrado, crecimiento de las ciudades, además del cambio climático, esto último también ha llevado a realizar

plantaciones de especies exóticas de árboles como pinos y eucaliptus, debido a su adaptabilidad a menores precipitaciones y su valor comercial, pero esto puede llegar a requerir de una clasificación más profunda del NDVI para diferenciar estos monocultivos de la vegetación boscosa nativa, ya que el mapeo específico de la vegetación es crítico para la gestión de recursos naturales y el análisis ecológico (Ferrari et al., 2024; Hartoyo et al., 2021; Sohail et al., 2020; Hashim et al., 2019). También se debe considerar que las plantas exóticas o domesticadas a menudo difieren de las plantas silvestres en la composición química de su polen, de modo que el reemplazo de plantas silvestres por plantas domesticadas en paisajes gestionados por humanos podría tener consecuencias significativas para el tamaño corporal de las abejas (Anderson et al., 2024).

Por último, la expansión constante de las áreas urbanas, incluso desplazando las tierras agrícolas más productivas del mundo, son cambios de uso de suelo que coinciden con la disminución de la cobertura de tierra con vegetación corta, incluyendo pastizales, lo que ha generado una disminución en la productividad de las colonias de abejas (Richardson et al., 2023).

Conclusión

Se pudo comprobar una relación significativa entre la riqueza de especies de abejas nativas y las variables temperatura ambiental y precipitaciones, pero también una relación con mayor nivel de significancia estadística, con la variable temperatura de superficie del suelo.

Los valores de NDVI obtenidos en las localidades se vinculan con zonas de vegetación escasa o rala, como zonas de mayor riqueza de especies, lo que también concuerda con el hecho que en Chile la mayoría de las especies de abejas nativas anidan en suelo principalmente.

Los efectos del cambio climático, así como el aumento de la población en Chile, han generado una mayor demanda de cambios de uso de suelo (agrícola, urbano, minería, etc.). Además, el ingreso de abejas de otros países, son factores que han afectado a las abejas nativas, por lo que es importante efectuar estudios retrospectivos como este, que puedan evidenciar el impacto de factores bióticos y abióticos sobre la riqueza específica, a nivel local, de las abejas nativas en Chile.

La utilización de imágenes satelitales de la serie Landsat (40 años), es una herramienta que puede ser utilizada para estudios temporales amplios en retrospectiva, para evaluar variables bióticas como cobertura vegetal de la superficie (NDVI), uso de suelo, mediante técnicas de teledetección.

Agradecimientos

A la Dra. Maureen Murúa y al Dr. Antonio Rivera, cuyas observaciones y sugerencias realizadas durante la investigación, y revisiones al escrito, permitieron mejorar la calidad del trabajo realizado.

Referencias

- Anderson, S. E., Hahn, P., Gonzalez, G., & Mallinger, R. E. (2024). Land-use change alters specialist bee diet and drives body size declines. *Landscape Ecology*, *39*(6), 115. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01893-1>
- Antoine, C. M., & Forrest, J. R. K. (2021). Nesting habitat of ground-nesting bees: A review. *Ecological Entomology*, *46*(2), 143–159. <https://doi.org/10.1111/een.12986>
- Ayers, A. C., & Rehan, S. M. (2021). Supporting Bees in Cities: How Bees Are Influenced by Local and Landscape Features. *Insects*, *12*(2), 128. <https://doi.org/10.3390/insects12020128>
- Bishop, J. A., & Armbruster, W. S. (1999). Thermoregulatory abilities of Alaskan bees: Effects of size, phylogeny and ecology. *Functional Ecology*, *13*(5), 711–724. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00351.x>
- Boyd, R. J., Aizen, M. A., Barahona-Segovia, R. M., Flores-Prado, L., Fontúrbel, F. E., Francoy, T. M., Lopez-Aliste, M., Martinez, L., Morales, C. L., Ollerton, J., Pescott, O. L., Powney, G. D., Saraiva, A. M., Schmucki, R., Zattara, E. E., & Carvell, C. (2022). Inferring trends in pollinator distributions across the Neotropics from publicly available data remains challenging despite mobilization efforts. *Diversity and Distributions*, *28*(7), 1404–1415. <https://doi.org/10.1111/ddi.13551>

- Burdine, J. D., & McCluney, K. E. (2019). Differential sensitivity of bees to urbanization-driven changes in body temperature and water content. *Scientific Reports*, 9(1), 1643. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38338-0>
- Couvillon, M. J., Fitzpatrick, G., & Dornhaus, A. (2010). Ambient Air Temperature Does Not Predict whether Small or Large Workers Forage in Bumble Bees (*Bombus impatiens*). *Psyche: A Journal of Entomology*, 2010, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2010/536430>
- De Palma, A., Kuhlmann, M., Roberts, S. P. M., Potts, S. G., Börger, L., Hudson, L. N., Lysenko, I., Newbold, T., & Purvis, A. (2015). Ecological traits affect the sensitivity of bees to land-use pressures in European agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 52(6), 1567–1577. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12524>
- Dirección General de Aguas. (2024). *Estadísticas estaciones DGA* [Base de datos]. <https://dga.mop.gob.cl/estadisticas-estaciones-dga/>
- Dirección Meteorológica de Chile. (2024). *Productos Servicios Climáticos* [Base de Datos]. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/requerimiento/producto/RE3023>
- Equipo desarrollador QGIS. (2024). *Sistema de información Geográfica QGIS* (Versión 3.34.11) [C++]. <https://qgis.org/download/>
- Ferrari, A., & Polidori, C. (2022). How city traits affect taxonomic and functional diversity of urban wild bee communities: Insights from a worldwide analysis. *Apidologie*, 53(4), 46. <https://doi.org/10.1007/s13592-022-00950-5>
- Ferrari, A., Tommasi, N., & Polidori, C. (2024). Urbanisation reduced body size but potentially improved flight performance in bees and wasps. *Basic and Applied Ecology*, 74, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2023.11.010>
- Flores-Prado, L., Chiappa, E., & Niemeyer, H. M. (2008). Nesting biology, life cycle, and interactions between females of *Manuelia postica*, a solitary species of the Xylocopinae (Hymenoptera: Apidae). *New Zealand Journal of Zoology*, 35(1), 93–102. <https://doi.org/10.1080/03014220809510106>
- Gajardo-Rojas, M., Muñoz, A. A., Barichivich, J., Klock-Barría, K., Gayo, E. M., Fontúrbel, F. E., Olea, M.,

- Lucas, C. M., & Veas, C. (2022). Declining honey production and beekeeper adaptation to climate change in Chile. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46(5), 737–756.
<https://doi.org/10.1177/03091333221093757>
- Geppert, C., Cappellari, A., Corcos, D., Caruso, V., Cerretti, P., Mei, M., & Marini, L. (2023). Temperature and not landscape composition shapes wild bee communities in an urban environment. *Insect Conservation and Diversity*, 16(1), 65–76. <https://doi.org/10.1111/icad.12602>
- González-Céspedes, C., Flores-Prado, L., & Chiappa, E. (2019). Actividad de visita de abejas nativas (Hymenoptera: Apoidea) hacia *Loasa tricolor* Ker-Gawl. (Loasaceae) en relación con temperatura ambiental y recursos florales. *Revista Chilena de Entomología*, 45(3), 451–462.
<https://doi.org/10.35249/rche.45.3.19.20>
- Gordo, O. (2007). *La fenología nos alerta del cambio climático*.
- Hartoyo, A. P. P., Sunkar, A., Ramadani, R., Faluthi, S., & Hidayati, S. (2021). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) analysis for vegetation cover in Leuser Ecosystem area, Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(3).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d220311>
- Hashim, H., Abd Latif, Z., & Adnan, N. A. (2019). URBAN VEGETATION CLASSIFICATION WITH NDVI THRESHOLD VALUE METHOD WITH VERY HIGH RESOLUTION (VHR) PLEIADES IMAGERY. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W16, 237–240. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-237-2019>
- Hopfenmüller, S., Steffan-Dewenter, I., & Holzschuh, A. (2014). Trait-Specific Responses of Wild Bee Communities to Landscape Composition, Configuration and Local Factors. *PLoS ONE*, 9(8), e104439. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104439>
- Jaboor, S. K., Da Silva, C. R. B., & Kellermann, V. (2022). The effect of environmental temperature on bee activity at strawberry farms. *Austral Ecology*, 47(7), 1470–1479. <https://doi.org/10.1111/aec.13228>
- Jamovi* (Versión 2.6.13). (2024). [Software]. JAMOV. <https://www.jamovi.org>

- Kammerer, M., Goslee, S. C., Douglas, M. R., Tooker, J. F., & Grozinger, C. M. (2021). Wild bees as winners and losers: Relative impacts of landscape composition, quality, and climate. *Global Change Biology*, 27(6), 1250–1265. <https://doi.org/10.1111/gcb.15485>
- Krishnasamy, V., Sundaraguru, R., & Amala, U. (2019). Emerging vistas of Remote Sensing Tools in Pollination Studies. *Sociobiology*, 66(3), 394. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v66i3.4266>
- Lawson, D. A., & Rands, S. A. (2019). The effects of rainfall on plant–pollinator interactions. *Arthropod-Plant Interactions*, 13(4), 561–569. <https://doi.org/10.1007/s11829-019-09686-z>
- Lonsdorf, E., Kremen, C., Ricketts, T., Winfree, R., Williams, N., & Greenleaf, S. (2009). Modelling pollination services across agricultural landscapes. *Annals of Botany*, 103(9), 1589–1600. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp069>
- López-Aliste, M., Flores-Prado, L., Ruz, L., Sepúlveda, Y., Rodríguez, S., Saraiva, A. M., & Fontúrbel, F. E. (2021a). Wild bees of Chile: A database on taxonomy, sociality, and ecology. *Ecology*, 102(8). <https://doi.org/10.1002/ecy.3377>
- López-Aliste, M., Flores-Prado, L., Ruz, L., Sepúlveda, Y., Rodríguez, S., Saraiva, A. M., & Fontúrbel, F. E. (2021b). Wild bees of Chile: A database on taxonomy, sociality, and ecology. *Ecology*, 102(8). <https://doi.org/10.1002/ecy.3377>
- Maglianesi, M. A. (2016, junio). Efectos del cambio climático sobre la polinización y la producción agrícola en América tropical. *Ingeniería. Revista de la Universidad de Costa Rica*, 26(1), 11–20.
- Medel, R., González-Browne, C., & Fontúrbel, F. E. (2018). Pollination in the Chilean Mediterranean-type ecosystem: A review of current advances and pending tasks. *Plant Biology*, 20(S1), 89–99. <https://doi.org/10.1111/plb.12644>
- Montalva, J., & Ruz, L. (2010). Actualización sistemática de las abejas Chilenas (Hymenoptera: Apoidea). *Revista Chilena de Entomología*, 35, 15–52.
- Montalva, J., Sepúlveda, Y., & Baeza, Rodrigo. (2011). CADEGUALA OCCIDENTALIS (HALIDAY, 1836) (HYMENOPTERA: COLLETIDAE: DIPHAGLOSSINAE): BIOLOGÍA DE NIDIFICACIÓN Y MORFOLOGÍA DE LOS ESTADOS INMADUROS. *Boletín Universidad de Chile*, 5, 3–21.

- Morales-Castilla, I., & García-Valdés, R. (2014). Reverse latitudinal diversity gradients, exceptions that prove the rule? *Ecosistemas*, 23(1), 4–12. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-1.02>
- Ogilvie, J. E., Griffin, S. R., Gezon, Z. J., Inouye, B. D., Underwood, N., Inouye, D. W., & Irwin, R. E. (2017). Interannual bumble bee abundance is driven by indirect climate effects on floral resource phenology. *Ecology Letters*, 20(12), 1507–1515. <https://doi.org/10.1111/ele.12854>
- Orr, M. C., Hughes, A. C., Chesters, D., Pickering, J., Zhu, C.-D., & Ascher, J. S. (2021). Global Patterns and Drivers of Bee Distribution. *Current Biology*, 31(3), 451-458.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.10.053>
- Papanikolaou, A. D., Kühn, I., Frenzel, M., Kuhlmann, M., Poschlod, P., Potts, S. G., Roberts, S. P. M., & Schweiger, O. (2017). Wild bee and floral diversity co-vary in response to the direct and indirect impacts of land use. *Ecosphere*, 8(11), e02008. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2008>
- Papanikolaou, A. D., Kühn, I., Frenzel, M., & Schweiger, O. (2017). Semi-natural habitats mitigate the effects of temperature rise on wild bees. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 527–536. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12763>
- Park, M. G., Blitzer, E. J., Gibbs, J., Losey, J. E., & Danforth, B. N. (2015). Negative effects of pesticides on wild bee communities can be buffered by landscape context. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1809), 20150299. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0299>
- Pille Arnold, J., Tylianakis, J. M., Murphy, M. V., Cawthray, G. R., Webber, B. L., & Didham, R. K. (2024). Body-size-dependent effects of landscape-level resource energetics on pollinator abundance in woodland remnants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 291(2024), 20232771. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.2771>
- Polatto, L. P., Chaud-Netto, J., & Alves-Junior, V. V. (2014). Influence of Abiotic Factors and Floral Resource Availability on Daily Foraging Activity of Bees: Influence of Abiotic and Biotic Factors on Bees. *Journal of Insect Behavior*, 27(5), 593–612. <https://doi.org/10.1007/s10905-014-9452-6>
- Prathamesh Barane, G S Dwarakish. (2022). *RS&GIS* (Versión 1.2) [Software]. https://github.com/PrathamGitHub/NITK_RS-GIS_17

- Richardson, R. T., Conflitti, I. M., Labuschagne, R. S., Hoover, S. E., Currie, R. W., Giovenazzo, P., Guarna, M. M., Pernal, S. F., Foster, L. J., & Zayed, A. (2023). Land use changes associated with declining honey bee health across temperate North America. *Environmental Research Letters*, *18*(6), 064042. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd867>
- Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M., & Meseguer-Ruiz, Ó. (2017). Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*, *13*(2), 66–73. <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1259592>
- Schürch, R., Acclerton, C., & Field, J. (2016). Consequences of a warming climate for social organisation in sweat bees. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *70*(8), 1131–1139. <https://doi.org/10.1007/s00265-016-2118-y>
- Skandalis, D. A., Richards, M. H., Sformo, T. S., & Tattersall, G. J. (2011). Climate limitations on the distribution and phenology of a large carpenter bee, *Xylocopa virginica* (Hymenoptera: Apidae). *Canadian Journal of Zoology*, *89*(9), 785–795. <https://doi.org/10.1139/z11-051>
- Smart, M. D., Otto, C. R. V., Carlson, B. L., & Roth, C. L. (2018). The influence of spatiotemporally decoupled land use on honey bee colony health and pollination service delivery. *Environmental Research Letters*, *13*(8), 084016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad4eb>
- Sohail, U., Khan, I. A., & Arsalan, M. H. (2020). ANALYSIS THE POTENTIAL OF VEGETATION INDICES (NDVI) FOR LAND USE / COVER CLASSIFICATION IN KARACHI BY LANDSAT 8 DATA. *INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY*, *17*(2), 356–366.
- Torres-Díaz, C., Cavieres, L. A., Muñoz-Ramírez, C., & K. Arroyo, M. T. (2007). Consecuencias de las variaciones microclimáticas sobre la visita de insectos polinizadores en dos especies de *Chaetanthera* (Asteraceae) en los Andes de Chile central. *Revista chilena de historia natural*, *80*(4). <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2007000400007>
- Trani, J. C. D., Ramírez, V. M., Añino, Y., & Barba, A. (2022). Environmental conditions and bee foraging on watermelon crops in Panama. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, *10*(4), 1–9. <https://doi.org/10.31893/jabb.22034>
- United States Geological Survey. (2024). *Imágenes Satélites Landsat 4-5* [Imágenes de satélite].

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

Wastian, L., Unterweger, P. A., & Betz, O. (2016). Influence of the reduction of urban lawn mowing on wild bee diversity (Hymenoptera, Apoidea). *Journal of Hymenoptera Research*, 49, 51–63.

<https://doi.org/10.3897/JHR.49.7929>

USGS (2018). NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology. <https://www.usgs.gov/special-topics/remote-sensing-phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology#overview>

(visitado 19-12-2024)

4. CONCLUSIONES

En este estudio temporal realizado en cuatro regiones de Chile, se comprobó la relación de factores abióticos con la riqueza específica de especies de abejas nativas, dentro de las cuales la variable “Temperatura de Superficie” mostró un nivel de significancia estadística mayor. Dos variables ambientales, precipitaciones y temperatura ambiental, también mostraron una correlación estadísticamente significativa con la riqueza de especies, pero con menor valor de significancia.

Se propone que las variables meteorológicas que mostraron una relación significativa con la riqueza de especies tienen un efecto sobre aspectos relevantes del ciclo biológico de las abejas, así como también de su biología de nidificación.

Es importante la incorporación de las tecnologías satelitales disponibles, como una forma de complementar de mejor manera los estudios en terreno y a un menor costo, para poder abarcar mayores dimensiones temporales y espaciales, incorporando imágenes satelitales de alta o mediana resolución espacial.

5. ANEXOS

Imagen 1. Mapa de Clasificación de Usos de Suelo de Til Til y Curacaví, dos localidades de estudio en la Región Metropolitana

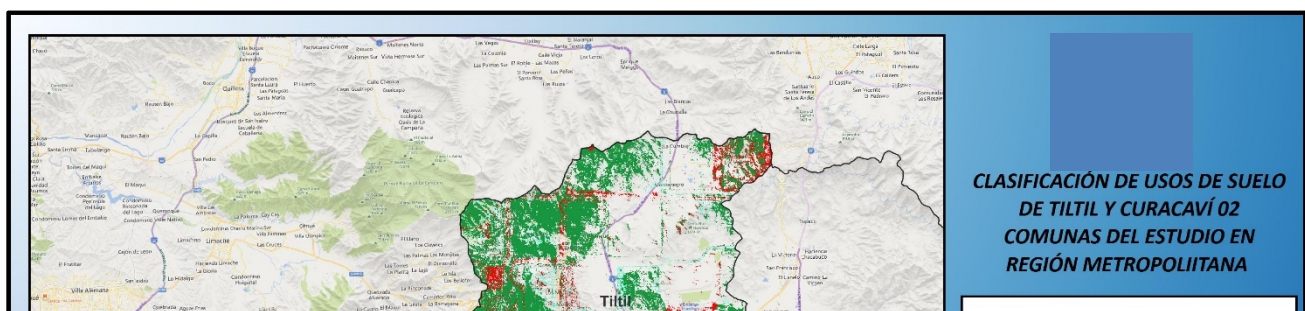


Imagen 2. Mapa de Clasificación de Usos de Suelo de Caldera y Copiapo, dos localidades de estudio en la Región de Atacama

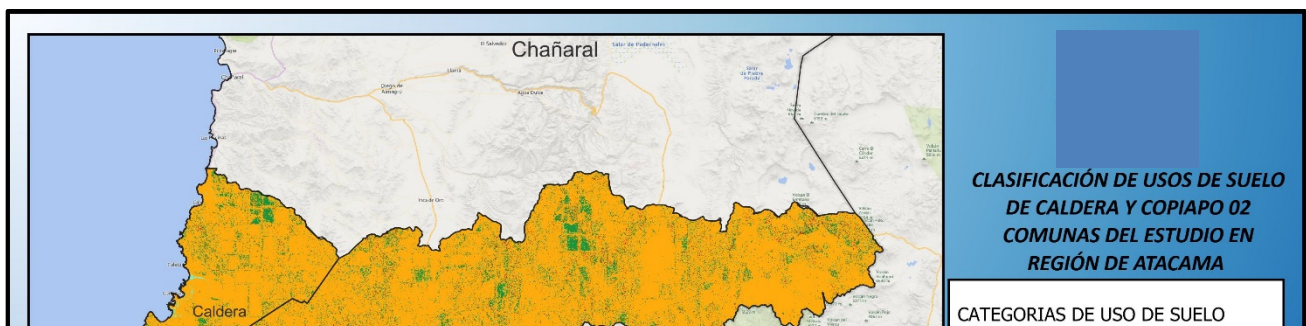


Tabla 1. Riqueza específica total y variables meteorológicas, primer trienio

Trimestre	Riqueza de especies total	T° Ambiental promedio	T° Superficie promedio	Precipitaciones promedio
1 (enero-marzo)	66	18,80	23,07	2,39
2 (abril-junio)		12,08	17,55	39,02
3 (julio-septiembre)		10,93	18,68	64,88
4 (octubre-diciembre)		16,56	23,70	10,35

Tabla 2. Riqueza específica total y variables meteorológicas, segundo trienio

Trimestre	Riqueza de	T° Ambiental	T° Superficie	Precipitaciones
-----------	------------	--------------	---------------	-----------------