



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**DIVERSIDAD TAXONÓMICA Y FUNCIONAL DE ENSAMBLES DE
INSECTOS POLINIZADORES APOIDEOS Y SÍRFIDOS DE
FRUTILLARES EN LA REGIÓN DEL MAULE**

Paz Francisca Gatica Barrios

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinaria
Departamento de Ciencias
Biológicas Animales

PROFESORA GUÍA: Audrey Alejandra Grez Villarroel
Universidad de Chile

FONDECYT 1180533, CONICYT 21171360, FONDECYT 11160672

SANTIAGO, CHILE
2019

AGRADECIMIENTOS

A Virginia, Juan, Verónica, Pablo y Blas. Núcleo familiar imprescindible en los logros de mi vida.

A Imahui por su comprensión, compañía fiel y amor incondicional.

A Igor, compañero del amor y los aprendizajes del día a día.

A Savitri, Lakshmi y Carla, hermanas de la vida y el hogar. También a Fusa, Maura y Mucca, quienes acompañaron cada momento juntas.

A mis compañeros/as huerteros/as, por los sueños en el camino hacia la agroecología.

A los amigos y amigas que dejó la universidad. Ricardo, Aleide, Tomás, Rodrigo, Gabriel, Eddie, Marcelo, Catalina, Gianina, Daniela, Nicolás y Nicole. El aprendizaje en conjunto siempre dando como resultado goce y felicidad.

A mi profesora Audrey, por su guía clara y la inspiradora determinación en cada cosa que hace.

A mis compañeros/as de laboratorio, personas que han hecho de ese lugar un espacio que nutre de conocimientos de forma alegre y motivadora. Eli, Rodrigo, Violeta, Romina, Francisca y especialmente a Jorge, quien ha sido un segundo profesor guía en este proceso.

Al arte, la amada danza y su gente. Pasión es la palabra que mejor la define para mí.

Al FONDECYT 1180533 por facilitar los recursos que aportaron a mi formación y experiencia.

A Rodrigo Barahona y Luis Flores por su disposición a la entrega de su conocimiento e investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Sitios de muestreo	12
Evaluación de la diversidad taxonómica.....	13
Evaluación de la diversidad funcional	13
Análisis de los datos.....	15
RESULTADOS	16
<i>Apoidea</i>	16
Composición y abundancia.....	16
Diversidad taxonómica de <i>Apoidea</i>	16
Diversidad funcional de <i>Apoidea</i>	18
Diversidad taxonómica vs funcional.....	19
<i>Syrphidae</i>	4
Composición y abundancia.....	4
Diversidad taxonómica de <i>Syrphidae</i>	5
Diversidad funcional de <i>Syrphidae</i>	5
Diversidad taxonómica vs funcional.....	6
DISCUSIÓN	9
CONCLUSIONES	14
BIBLIOGRAFÍA	15
ANEXO N°1	20
ANEXO N°2	21

RESUMEN

Para estudiar la relación entre biodiversidad y servicios ecosistémicos es necesario caracterizar a las comunidades. En polinizadores, esto se ha realizado clásicamente a través de la diversidad taxonómica, aunque evidencia reciente sugiere que la diversidad funcional explica mejor la polinización. Sin embargo, ambas diversidades podrían entregar información complementaria, que ayudaría a interpretar de mejor manera este servicio ecosistémico. En este trabajo se analizó la asociación entre la diversidad taxonómica y funcional de visitantes florales (Apoidea y Syrphidae) de ocho frutillares en la costa del Maule, en el verano del 2017-2018. Los insectos fueron muestreados a partir de “pan traps” dobles montadas en el centro y borde de cada cultivo, en cuatro ocasiones. Con las capturas acumuladas en la temporada se estimó la diversidad taxonómica a partir de los índices de Simpson, Shannon Wiener y Equidad de Pielou, y la diversidad funcional a partir de la riqueza, equidad y dispersión funcional, y la media ponderada de la comunidad de cada rasgo. Como rasgos funcionales se consideraron el tamaño corporal, largo de probóscide, nidificación, sociabilidad y dieta. En total se capturaron 3209 Apoidea y 201 Syrphidae de 22 y 12 especies o morfoespecies, respectivamente. En general, no hubo asociación entre la diversidad taxonómica y funcional, con algunas excepciones en Apoidea. Estos resultados sugieren que existe una alta redundancia funcional en el ensamble y que la diversidad taxonómica y funcional de los principales polinizadores de frutillares son complementarias, por lo que ambas podrían ayudar a entender de mejor forma el servicio ecosistémico de polinización.

ABSTRACT

To study the relationship between biodiversity and ecosystem services is necessary to characterize the communities. In pollinators, this has been realized classically through taxonomic diversity, although recent evidence suggest that functional diversity explain better pollination service. However, both taxonomic and functional diversity could give complementary information, helping to better interpret this ecosystem service. This work analyzed the association between the taxonomic and functional diversity of flower visitors (Apoidea and Syrphidae) on eight strawberry crops in the coast of Maule's region during summer 2017-2018. Insects was sampled through double pan traps put in the center and edge of each crop, in four occasions. With the accumulated catches in the season, taxonomic diversity was estimated based on Simpson, Shannon Wiener and Pielou's Equity indexes. On the other hand, functional diversity was estimated through Functional Richness, Evenness and Functional Dispersion. Also, the Community Weighted Mean of each trait was calculated. As functional traits body size, proboscis length, nesting, sociability and diet were considered. In total, 3209 bees and 201 hoverflies were collected. In general, taxonomic and functional diversity were not associated, except for Apoidea, where some associations were observed. These results suggest that a high functional redundancy exist in the assemblages and that taxonomic and functional diversity of the main strawberry pollinators are complementary, meaning that both diversities could help to better understand pollination ecosystem service.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un problema de conservación de la biodiversidad a escala global, debido principalmente al impacto ambiental de las actividades humanas y la consecuente degradación de los ecosistemas. En agroecosistemas, esto ocurre especialmente cuando ellos son manejados intensivamente (Bommarco *et al.*, 2013). El funcionamiento ecosistémico y, por ende, los servicios ecosistémicos, dependen positivamente de la biodiversidad (Boyd y Banzhaf, 2007). Usualmente, esta relación se ha establecido considerando la diversidad taxonómica, que mide la riqueza, abundancia y equitatividad de las especies de una comunidad (Magurran, 1988). Sin embargo, más recientemente se ha comenzado a evaluar la relación entre el funcionamiento ecosistémico y la diversidad funcional, que incluye la diversidad de rasgos funcionales de las especies presentes en una comunidad, considerando los rasgos que afectan una determinada función (Violle *et al.*, 2007; Cadotte *et al.*, 2011). Por ejemplo, entre algunos insectos polinizadores, el tamaño corporal determina la eficiencia en la polinización (Greenleaf *et al.*, 2007), aunque también es importante considerar la variabilidad de este y cada rasgo estudiado dentro del ensamble, debido a que uno (identidad funcional) o varios (complementariedad funcional) niveles de rasgo podrían tener una influencia dominante sobre la entrega del servicio (Díaz y Cabildo, 2001; Díaz *et al.*, 2007). La diversidad taxonómica y funcional podrían tener una relación directa, es decir, a un mayor número o diversidad de especies mayor será la diversidad funcional (Cadotte *et al.*, 2011). Sin embargo, varias investigaciones sugieren que la diversidad funcional explica de mejor manera el funcionamiento ecosistémico que la diversidad taxonómica (Gagic *et al.*, 2015), lo que implica que no habría una relación directa entre ambas variables.

La polinización es un servicio ecosistémico esencial para resguardar la seguridad alimentaria de la creciente población humana y cumple una función clave para la conservación de especies vegetales (Klein *et al.*, 2007). Los principales ejecutores de esta función son los insectos, siendo responsables del 90% de la polinización de angiospermas, e incidiendo en el 35% de la producción de alimentos destinados al consumo humano (Klein *et al.*, 2007). Dentro de los insectos, la superfamilia Apoidea (Hymenoptera) y la

familia Syrphidae (Diptera) han sido descritas como los grupos dominantes de polinizadores, realizando un trabajo complementario (Klein *et al.*, 2007).

En el presente trabajo se estudió la relación entre la diversidad taxonómica y funcional de visitantes florales Apoidea y Syrphidae, potenciales polinizadores en cultivos de frutilla de la Región del Maule. Con ello, se pretendió aportar al entendimiento de la asociación que existe entre el enfoque taxonómico y funcional para evaluar la diversidad de una comunidad, como base para estudiar en el futuro cómo influye cada uno en el servicio de polinización.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El crecimiento exponencial de la población humana observado en los últimos dos siglos ha llevado a un equivalente aumento en la demanda de alimento y espacio para asentamientos urbanos, lo que ha significado que, a través de los años, el cambio en el uso de suelo avance rápidamente, generando consecuencias negativas para los ambientes naturales y las especies que los habitan (Bommarco *et al.*, 2013). La elevada extinción de especies registrada en el último tiempo ha motivado que las investigaciones apunten a resolver dudas sobre cómo esto afecta el funcionamiento de los ecosistemas y los servicios que estos brindan, los cuales son esenciales para el desarrollo de las especies, incluida la humana (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Gagic *et al.*, 2015).

El funcionamiento ecosistémico se define como el desarrollo de procesos que proveen servicios ecosistémicos, procesos que son realizados por organismos en constante interacción con su medio (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Los servicios ecosistémicos son procesos, condiciones y beneficios de los ecosistemas naturales, tanto de sus componentes bióticos como abióticos y de las interacciones entre ellos, que satisfacen las necesidades de la vida humana. Este concepto genera un enlace entre el bienestar de los ecosistemas y el humano (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Boyd y Banzhaf, 2007). Por ejemplo, las abejas (Apoidea: Hymenoptera) y moscas sírfidas (Syrphidae: Diptera) ejecutan el servicio ecosistémico de polinización, lo que asegura la reproducción vegetal y, en el caso de cultivos agrícolas, la producción de alimento sin necesidad de insumos externos, lo que disminuye los costos de producción. A nivel global, se ha estimado que el valor de la polinización por insectos es de aproximadamente el 9,5% del valor total de la producción (Kluser y Perduzzi, 2007). La biodiversidad brinda resiliencia al estabilizar los servicios a través del tiempo, sin embargo, ella se encuentra amenazada. Una de las causas principales responsable de la pérdida de especies y de los servicios ecosistémicos en cultivos es la intensificación de la agricultura, específicamente de la que utiliza prácticas convencionales (Bommarco *et al.*, 2013).

Para entender la relación entre biodiversidad y servicios ecosistémicos es necesario primero caracterizar la biodiversidad. Esta puede caracterizarse taxonómica o funcionalmente (Cadotte *et al.*, 2011). La diversidad de una comunidad se caracteriza taxonómicamente

considerando el número de especies, entendido como su riqueza, y la abundancia relativa de ellas, es decir, la proporción de cada especie dentro del total de individuos que componen dicha comunidad. El aporte conjunto de la riqueza y abundancia relativa de las especies en una comunidad se estima a partir de diferentes índices, como el de Simpson o el de Shannon-Wiener (Krebs, 1994). Estos se diferencian en que el primero le da más peso a las especies que más se repiten, subestimando las especies raras, en cambio el de Shannon-Wiener le da igual peso a todas las especies (Magurran, 1988). También una comunidad puede caracterizarse según la equitatividad de especies, esto es, cuán similares son las abundancias de todas las especies dentro de la comunidad (Krebs, 1994).

La diversidad taxonómica ha sido utilizada por años para entender las variaciones entre comunidades y su rol en el funcionamiento ecosistémico. Sin embargo, el entendimiento ha sido limitado puesto que la diversidad taxonómica no considera que las distintas especies pueden presentar diferencias o similitudes en sus características y que esto influye en una determinada función. El enfoque funcional de la diversidad si considera que existen variaciones de las características entre especies (Violle *et al.*, 2007), pudiendo explicar los cambios en las funciones ecosistémicas cuando la riqueza de especies no lo hace (Cadotte *et al.*, 2011; Gagic *et al.*, 2015). La diversidad funcional describe la abundancia y distribución de los valores o niveles de rasgos presentes en una comunidad. Estos rasgos son características morfológicas, fisiológicas, fenológicas y de comportamiento que tienen una influencia en el rendimiento de los individuos y que se encuentran ligadas a funciones ecosistémicas (Violle *et al.*, 2007). Estos pueden presentar diferentes niveles o valores dependiendo de si son rasgos continuos, como el tamaño corporal, que puede presentar diferentes valores de medida, o rasgos discretos, como el nivel de sociabilidad, el cual distingue entre individuos sociales y solitarios (Violle *et al.*, 2007). La elección de los rasgos a estudiar constituye uno de los factores más importantes al evaluar diversidad funcional, ya que ciertos rasgos pueden tener un mayor impacto en la función ecosistémica estudiada (Cadotte *et al.*, 2011; Gagic *et al.*, 2015).

La asociación que existe entre la diversidad taxonómica y funcional es variable y varía según el sistema natural estudiado (Cadotte *et al.*, 2011). Si existe una relación proporcionalmente positiva entre la diversidad taxonómica y funcional de una comunidad,

se esperaría la misma relación entre cualquiera de las variables de diversidad taxonómica o funcional con el funcionamiento ecosistémico. Sin embargo, el aumento de la diversidad de especies podría no alterar el funcionamiento ecosistémico. Este escenario se presenta cuando las especies son funcionalmente redundantes, es decir, distintas especies cumplen un rol funcional similar (Violle *et al.*, 2007). Por otra parte, si la diversidad taxonómica y funcional no están relacionadas, es indicador de que existe una alta redundancia funcional en la comunidad y que la influencia de cada tipo de diversidad sobre el funcionamiento ecosistémico será distinta, pero dependerá en mayor medida de la diversidad funcional y cambiará en función de las variaciones de esta (Cadotte *et al.*, 2011). Esta relación depende de la redundancia funcional presente en una comunidad, el índice de diversidad funcional utilizado, los filtros ambientales y de los rasgos funcionales evaluados, tanto la cantidad como los rasgos con mayor presencia y/o influencia en las funciones ecosistémicas. Debido a esto, no hay un consenso que establezca que la diversidad taxonómica y funcional se asocian en todos los casos de una misma forma (Cadotte *et al.*, 2011).

Los insectos aportan a la polinización del 75% de los cultivos de alimentos del mundo (Klein *et al.*, 2007). Dentro de estos, la superfamilia Apoidea es en gran parte responsable de polinizar cultivos agrícolas destinados a alimento y ha sido descrita como el principal grupo executor (Michener, 2000). Si bien la abeja melífera (*Apis mellifera*) es considerada la polinizadora más importante de cultivos en la actualidad, la acción de las especies silvestres es complementaria y permite asegurar la entrega del servicio ante la actual disminución de la abeja doméstica (Garibaldi *et al.*, 2013).

Chile es reconocido por poseer suelos y condiciones climáticas ideales para el cultivo de berries. Entre ellos, la frutilla, la cual es producida principalmente por pequeños/as productores/as de la Región Metropolitana y del Maule, y secundariamente por frutilleros mayores distribuidos de Curicó hasta Chillán, cubre 1272 hectáreas en el país (Pefaur, 2014). Esta planta es polinizada por insectos (entomofilia) y por acción del viento (anemofilia), siendo la primera la más importante ya que es más efectiva y permite una polinización adecuada evitando frutos deformes (Morales, 2017). Las abejas (Apoidea: Hymenoptera) y los sírfidos (Diptera: Syrphidae) son los principales polinizadores de este cultivo en el mundo (Rader *et al.*, 2015). Se considera que los sírfidos complementan la

acción de las abejas, ya que, entre otras razones, son más resilientes a cambios en el uso de la tierra y modificación de hábitat en general (Rader *et al.*, 2015). Se ha descrito que las hembras de sírfidos recorren mayores distancias que las abejas, lo que facilita y amplía el rango de dispersión del polen. Esto ocurre debido a que las moscas sírfidas alternan sus visitas entre colecta de alimento y oviposición, la cual es realizada en las hojas de las plantas. Ello difiere de lo que sucede en abejas, las que vuelven a su nido a alimentar a las larvas luego de cada forrajeo, lo que limita las distancias que recorren (Michener, 2000).

Entre los rasgos funcionales que influyen el servicio de polinización está el tamaño corporal de los visitantes florales, el que se relaciona positivamente con la distancia de forrajeo y con la cantidad de polen que puede llevar un individuo (Greenleaf *et al.*, 2007). También, el largo de probóscide afecta el rendimiento del cultivo y determina la sensibilidad de la especie a cambios en el uso de la tierra, debido a que insectos con probóscide más larga tienen una dieta más acotada, por lo que los cambios en el uso de suelo les afectan más (Garibaldi *et al.*, 2015). Otro rasgo relevante de las abejas es el nivel de sociabilidad, ya que insectos con comportamiento social implican una mayor abundancia de individuos polinizando el cultivo. Sin embargo, existen especies que presentan un comportamiento semi-social, como es el caso de especies solitarias que nidifican de forma agrupada, y que también resultan en una mayor cantidad de individuos visitando las flores (Martins *et al.*, 2015). Además, abejas solitarias y sociales visitan los cultivos a diferentes horas del día, lo que implicaría complementariedad temporal de polinización. La nidificación también influye en la polinización. Las especies que nidifican bajo el suelo podrían tender a nidificar cerca o en el cultivo, lo que facilitaría su llegada a los mismos, en contraposición a las que nidifican en sustratos que se encuentran más lejos, como la madera. Esto sugiere que para que la tasa de visita floral sea mayor en la frutilla, lo conveniente sería la presencia de especies que nidifiquen bajo suelo. Por otra parte, la especialización dietaria es otro factor que afecta la resiliencia del sistema, ya que especies oligolécticas son más susceptibles a perturbaciones del ambiente, por lo que sería beneficioso para los frutillares la presencia mayoritaria de especies polilécticas (Albrecht *et al.*, 2012).

OBJETIVO GENERAL

Conocer y estimar la asociación entre la diversidad taxonómica y funcional de los principales insectos polinizadores de cultivos de frutilla.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.** Caracterizar la diversidad taxonómica (riqueza, abundancia y equidad) de Apoidea y Syrphidae.
- 2.** Caracterizar la diversidad funcional de Apoidea (en función de su tamaño corporal, largo de probóscide, nivel de sociabilidad, especialización dietaria y nidificación) y Syrphidae (en función de su tamaño corporal y largo de probóscide).
- 3.** Determinar la relación que existe entre la diversidad taxonómica y funcional de Apoidea y Syrphidae.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo

Se seleccionaron ocho cultivos de frutilla ubicados en las comunas de Bahía Chanco y Pelluhue, Región del Maule. Estos cultivos tienen un área entre 0,2 y 0,35 hectáreas, pertenecientes a sistemas agrícolas de pequeña producción, cuyos dueños/as son usuarios/as del Programa de Desarrollo Local (PRODESAL) del Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). El muestreo de insectos se realizó desde diciembre del 2017 hasta febrero del 2018, durante el periodo de mayor producción de flores y frutas del año y por tanto de mayor visita de polinizadores (Morales, 2017). Se utilizaron trampas recipiente (en inglés “*pan traps*”) dobles de color amarillo y blanco colocadas en una estaca a 30 cm del suelo. Estas trampas son las más usadas para coleccionar polinizadores debido a que son fáciles de implementar y los colores usados aseguran una captura con mayor riqueza de especies (Vrdoljak y Samway, 2012). Se colocaron ocho trampas dobles por cultivo, dieciséis recipientes en total, la mitad ubicadas en el centro del cultivo y el resto en los bordes, las que se mantuvieron por cuatro días en cuatro semanas de muestreo que se extendieron entre el 26/12/2017 al 30/12/2017, 02/01/2018 al 06/01/2018, 16/01/2018 al 19/01/2018 y del 30/01/2018 al 02/02/2018. Las trampas contenían como conservantes una mezcla de alcohol de 75°, detergente y agua. Luego de la captura, los recipientes fueron desmontados y tapados para su traslado al Laboratorio de Ecología de Ambientes Fragmentados de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile para su posterior conteo, identificación, medición y cálculo de los índices de diversidad taxonómica y funcional.

Evaluación de la diversidad taxonómica

Para la identificación de los individuos se siguieron claves taxonómicas (Chiappa *et al.*, 1990; Thompson y Thompson, 2006), se consultó a entomólogos expertos¹ y se compararon las muestras con colecciones del Museo de Entomología de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile y la colección de abejas de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Se lograron identificar 8 especies y 14 morfoespecies de apoideos, mientras que de sírfidos se identificaron 12 especies.

Con los Apoidea y Syrphidae capturados se estimó la composición y abundancia de las especies del conjunto de muestreos, es decir, la suma de los cuatro muestreos de todos los cultivos. Se calcularon los siguientes índices de diversidad taxonómica: a) Índice Shannon-Wiener, el cual es una medida de la probabilidad de que un individuo escogido al azar de una muestra sea de una especie determinada asumiendo que todas las especies están representadas en la muestra y evaluando la equidad con la que se presentan (Magurran, 1988); b) Índice de Simpson, el que expresa la dominancia entre las especies y se define como la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie (Magurran, 1988); y c) Índice de equidad de Pielou, siendo este una medida de la uniformidad en la proporción en que cada especie se encuentra en la comunidad, comparando la diversidad máxima esperada con la presente en la muestra analizada (Magurran, 1988).

Evaluación de la diversidad funcional

Para ambos grupos, se evaluaron los rasgos morfológicos tamaño corporal y largo de probóscide debido a que son rasgos que influyen en el rendimiento de los polinizadores (Greenleaf *et al.*, 2007; Garibaldi *et al.*, 2015). El tamaño corporal de las abejas fue estimado a partir de la distancia intertegular (Cane, 1987), la cual se midió con un pie de metro en 2 individuos hembras por especie o morfoespecie, por cultivo, dando un total de 16 mediciones, de las cuales se obtuvo una medida promedio que se utilizó en los índices

¹ Jorge Zamorano Miranda y Rodrigo Barahona-Segovia, Laboratorio de Ecología de Ambientes Fragmentados, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile.

de diversidad funcional que se detallan más adelante (Hass *et al.*, 2018). Por concordancia, el tamaño corporal de los sírfidos fue estimado a través del ancho del tórax (Garibaldi *et al.*, 2015). El largo de probóscide de las abejas fue estimado a partir de la distancia intertegular y familia de cada especie, utilizando un paquete de R creado para este fin. El programa utiliza una ecuación predictiva desarrollada a partir de mediciones empíricas de la probóscide y que usa un coeficiente específico para cada familia, la distancia intertegular y un coeficiente de escala alométrica (Cariveau *et al.*, 2016). Por otra parte, el largo de probóscide de los sírfidos fue determinado por mediciones con pie de metro y lupa. Además, se evaluaron rasgos de comportamiento, con dos o tres categorías cada uno. Para abejas estos son: nivel de sociabilidad (solitaria, variable² o social, con valores 0, 1 y 2 respectivamente), condiciones de anidación (bajo o sobre el suelo, 0 y 1 respectivamente) y especialización dietaria (oligoléctica o poliléctica, 0 y 1 respectivamente). Esta información fue determinada mediante consulta bibliográfica y a un experto³ para cada especie o morfoespecie.

Se calcularon índices de diversidad funcional basados en un rasgo único y en rasgos múltiples. Entre los primeros, se estimó la Media Ponderada de la Comunidad (CWM, por sus siglas en inglés: *Community Weighted Mean*), que estima el valor esperado de un rasgo dentro de un grupo o comunidad (Violle *et al.*, 2007). Este se calculó para el tamaño corporal y para el largo de probóscide, por separado. Complementario a la CWM, se calculó el coeficiente de variación (CV) (Ecuación 1) del rasgo ya que es necesario mostrar de forma explícita la variabilidad de un rasgo dentro del ensamble ya que la CWM solo expresa un valor promedio. Entre los índices que incluyen múltiples rasgos, se estimó la riqueza funcional (FRic), la equidad funcional (FEve) y la dispersión funcional (FDis). El primero se define como la extensión con la que se distribuyen los valores de rasgos de las

² Existen especies de abejas en las que se ha descrito un nivel intermedio de sociabilidad y que presenta variadas formas. Por ejemplo, varias especies de halíctidos suelen nidificar solitariamente, pero en forma de agregaciones, es decir, construyen sus nidos uno al lado del otro (Comunicación personal Luis Flores, 5 de julio del 2019).

³ Dr. Luis Flores Prado, Instituto de Entomología, Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.

especies pertenecientes a una comunidad (Cadotte *et al.*, 2011), el segundo mide la regularidad de la distribución de los rasgos (Villéger *et al.*, 2008) y el último corresponde a la distancia promedio de cada especie en el espacio de los rasgos, con respecto al centroide del total de especies de una comunidad (Laliberté y Legendre 2010).

$$CV = \frac{S_x}{\bar{X}} \cdot 100$$

Ecuación 1. Fórmula utilizada para el cálculo del coeficiente de variación (CV) de la media ponderada de la comunidad (CWM) de cada rasgo de los apoideos colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018. Donde S_x corresponde a la desviación estándar de cada rasgo y \bar{X} al promedio.

Análisis de los datos

Se realizó una evaluación del esfuerzo de muestreo, utilizando el estimador no paramétrico Chao1 (Colwell y Coddington, 1994) a través del programa PAST3 (Hammer *et al.*, 2001) y luego calculando el índice de completitud. Este índice toma valores entre 0 y 1, siendo cercano a 0 cuando el esfuerzo de muestreo no ha sido suficiente, y cercano a 1 cuando la riqueza se encuentra bien representada en la muestra (Gotelli *et al.*, 2008). Se calcularon los índices de diversidad taxonómica y funcional por frutillar, tomando en cuenta como conjunto los datos obtenidos en las cuatro semanas de muestreo durante la temporada. Esto se realizó en el programa FDiversity® (Di Rienzo *et al.*, 2008) el cual entrega un valor promedio de la relación de los índices por cada frutillar. Con estos valores, según sitio, se hicieron análisis de componentes principales (PCA) para estimar los componentes que recogen la mayor parte de la variabilidad e identificar asociaciones entre los índices taxonómicos y funcionales. La tabla con los valores de cada índice por sitio se muestra en los Anexos 1 y 2. Además, para estimar el tipo y magnitud de la asociación entre los índices taxonómicos y funcionales, se realizaron correlaciones de Spearman. Los PCA, correlaciones y gráficos se realizaron con Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Apoidea

En total se capturaron 3209 apoideos identificándose 22 especies y morfoespecies. De estas, 19 son nativas y 3 exóticas. El índice de completitud calculado a partir del estimador de riqueza Chao1 tuvo como resultado valores cercanos a 1 en todos los sitios, lo que sugiere que la riqueza observada es un buen reflejo de la riqueza presente en los frutillares.

Composición y abundancia

La especie más abundante fue *Acamptopoeum submetallicum* (Andrenidae), con 1413 individuos, lo que equivale a cerca del 44% del total de Apoidea capturados. A ella la siguen *Lassioglossum* sp. y *Chalepogenus* sp., con 489 y 458 individuos, respectivamente (Tabla 1).

Diversidad taxonómica de Apoidea

La riqueza varió entre 10 y 14 especies por sitio (Tabla 2), con un promedio de 12,5 especies de Apoidea por frutillar. La diversidad de Shannon Wiener y la equitatividad de Pielou fueron mayores en los sitios 6, 7 y 8. Los índices de Shannon Wiener, Simpson y Pielou muestran que en el sitio 5 ocurrió la menor diversidad y mayor dominancia, donde *A. submetallicum* correspondió al 61% del total de Apoidea colectados (Tablas 1 y 2).

Tabla 1. Abundancia de especies de la superfamilia Apoidea colectadas en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018. Se indican los valores totales y por sitio.

Especie	Total	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Acamptopoeum submetallicum</i>	1413	153	155	89	326	371	142	71	106
<i>Andrenidae sp.</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Euherbstia sp.</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Alloscirtetica sp.</i>	74	47	15	4	4	3	1	0	0
<i>Apis mellifera</i> *	315	42	23	60	93	5	18	49	25
<i>Bombus dahlbomii</i>	2	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bombus ruderatus</i> *	4	0	1	1	0	1	1	0	0
<i>Bombus terrestris</i> *	173	16	31	7	6	34	37	16	26
<i>Chalepogenus sp.</i>	458	0	0	11	55	71	79	91	151
<i>Svastrides melanura</i>	20	0	4	2	3	3	4	3	1
<i>Colletidae sp.</i>	2	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Colletidae sp. 1</i>	4	0	3	0	0	1	0	0	0
<i>Caenohalictus sp.</i>	97	6	16	4	6	15	17	18	15
<i>Caenohalictus sp. 1</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Corynura sp.</i>	3	0	0	0	0	2	1	0	0
<i>Halictidae sp.</i>	9	1	0	2	5	1	0	0	0
<i>Lasioglossum sp.</i>	489	63	47	39	84	90	27	95	44
<i>Pseudagapostemon sp.</i>	88	0	2	1	13	13	23	10	26
<i>Ruizantheda proxima</i>	25	2	7	4	3	0	3	2	4
<i>Ruizanthedella sp.</i>	24	4	9	2	0	3	2	0	4
<i>Sphecodes granulosus</i>	5	0	3	0	0	0	0	2	0
<i>Megachilidae sp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0

* Especies exóticas

Tabla 2. Diversidad taxonómica por sitio de Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8
Riqueza	13	14	13	11	14	14	11	10
Shannon Wiener	1,60	1,74	1,66	1,42	1,34	1,88	1,80	1,72
Equidad de Pielou	0,62	0,66	0,65	0,59	0,51	0,71	0,75	0,75
Simpson	0,28	0,28	0,26	0,35	0,41	0,21	0,2	0,24

Diversidad funcional de Apoidea

Índices de múltiples rasgos: La riqueza de rasgos (FRic) varió entre 0,17 en el sitio 1 y 0,28 en el sitio 5, en tanto la equitatividad (FEve) varió entre 0,42 en el sitio 5 y 0,64 en el sitio 2, con los sitios 2 y 3 conteniendo apoideos con una distribución de sus rasgos más uniforme que en el resto de los sitios. La dispersión funcional (FDis) varió entre 1,56 en el sitio 5 y 2,82 en el sitio 6, este último presentando los rasgos más distintos entre sí. Si bien el sitio 5 obtuvo la mayor FRic, similar a lo ocurrido con los índices taxonómicos, este sitio obtuvo los valores más bajos para FEve y FDis (Tabla 3).

Tabla 3. Diversidad funcional multi rasgo por sitio de Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018. FRic: Riqueza funcional, FEve: Equidad funcional, FDis: Dispersión funcional.

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8
FRic	0,17	0,21	0,21	0,18	0,28	0,25	0,25	0,19
FEve	0,45	0,64	0,62	0,55	0,42	0,48	0,59	0,56
FDis	2,39	2,44	2,59	1,86	1,56	2,82	2,3	2,02

Índice de rasgo único: Al considerar el rasgo ponderado por su abundancia en la comunidad (CWM) (Tabla 4), los Apoidea visitantes de frutillares tuvieron valores de distancia intertegular promedio de 2,43, variando entre 2,24 en el sitio 7 y 2,71 en el sitio 6 (Tabla 4). Poseen un largo de probóscide promedio de 3,82, siendo el sitio 6 y 5 los con mayor y menor valor, respectivamente (Tabla 4). Dentro de los rasgos de comportamiento, este grupo obtuvo para la sociabilidad y nidificación valores cercanos a cero. Mientras que para dieta los valores fueron en todos los sitios cercanos a uno (Tabla 4).

En cuanto a los coeficientes de variación, para tamaño corporal el promedio fue 39,55, para largo de probóscide 63,19, para sociabilidad 179,51, para nidificación 387,48 y para dieta 70,18, variando entre sitios (Tabla 5).

Tabla 4. Diversidad funcional de rasgo único por sitio de Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018. CWM: Media ponderada de la comunidad.

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8
CWM tamaño corporal	2,45	2,51	2,52	2,35	2,3	2,71	2,24	2,39
CWM probóscide	3,71	3,64	3,97	3,32	3,07	5,08	3,78	3,99
CWM sociabilidad	0,39	0,45	0,65	0,37	0,18	0,74	0,45	0,5
CWM nidificación	0,12	0,07	0,27	0,16	0,01	0,08	0,14	0,06
CWM dieta	0,81	0,85	0,77	0,76	0,74	0,51	0,48	0,51

Tabla 5. Coeficientes de variación (CV) de rasgos únicos por sitio de Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8
CV tamaño	39,16	43,89	37,13	29,84	37,11	48,29	43,65	37,35
CV probóscide	66,91	75,41	62,47	58,3	67,45	57,26	62	55,68
CV sociabilidad	197,85	170,06	140,3	204,24	287,73	114,49	175,04	146,36
CV nidificación	266,31	358,09	166,7	233,22	1103,62	331,6	251,47	388,81
CV dieta	48,31	41,79	54,79	56,37	59,98	98,84	104,14	97,18

Diversidad taxonómica vs funcional

En el Anexo 1 se muestra la tabla utilizada para el análisis de componentes principales (PCA) y el cálculo de las correlaciones. El PCA indica que los índices de diversidad taxonómica y funcional explican el 67% de la variabilidad de las comunidades de Apoidea en los frutillares estudiados (Figura 1). En general, las asociaciones en este análisis multivariado coinciden con las correlaciones lineales (Tabla 6). El índice de Simpson (D) se relaciona negativamente con la CWM del largo de probóscide y la CWM de sociabilidad (Figuras 1, 2 y 3). Por su parte, el índice de Shannon Wiener (H) y la equidad de Pielou (E) se asocian positivamente con la CWM de sociabilidad y probóscide, respectivamente (Figuras 1, 4 y 5). Además, el índice de Shannon Wiener se asocia positivamente con el coeficiente de variación de tamaño corporal y de forma negativa con el coeficiente de variación de sociabilidad (Figuras 6 y 7). Este último índice de diversidad funcional también se asocia positivamente con el índice de Simpson (Figura 8).

Si bien en el PCA la diversidad de Shannon Wiener y la Equidad de Pielou se asocian positivamente con la dispersión funcional (FDis), el índice de Simpson negativamente con el coeficiente de variación de tamaño corporal, la diversidad de Shannon Wiener positivamente con la CWM de largo de probóscide y la equidad de Pielou positivamente con la CWM de sociabilidad, en las correlaciones de Spearman, estas asociaciones no fueron significativas (Figura 1; Tabla 6). De hecho, la mayor parte de las correlaciones muestran una ausencia de asociación significativa entre los índices de diversidad taxonómica y funcional (Tabla 6), con las excepciones antes expuestas.

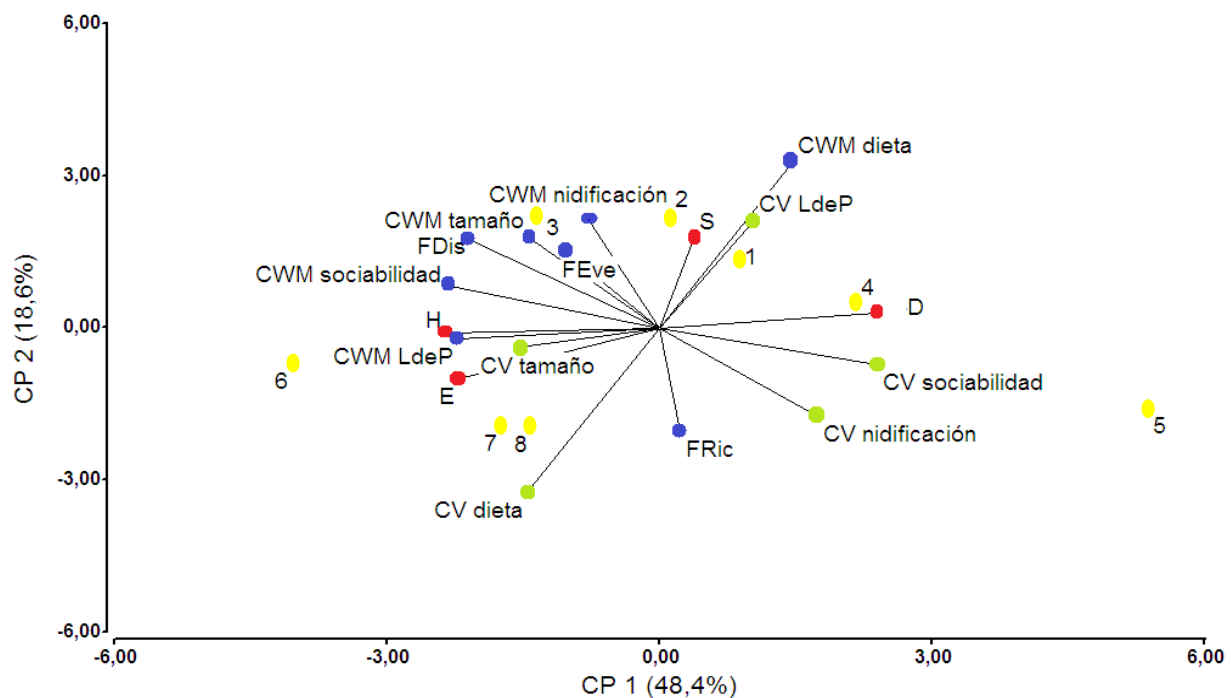


Figura 1. Análisis de componentes principales para la relación entre los índices de diversidad taxonómica y funcional de los Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018. En rojo los índices taxonómicos, donde FRic: Riqueza funcional; FEve: Equidad funcional; FDis: Dispersión funcional; CWM: Media ponderada de la comunidad; S: Riqueza de especies; H: Índice de Shannon Wiener; E: Equidad de Pielou; D: Índice de Simpson. En verde se muestran los coeficientes de variación de cada rasgo. En amarillo los sitios.

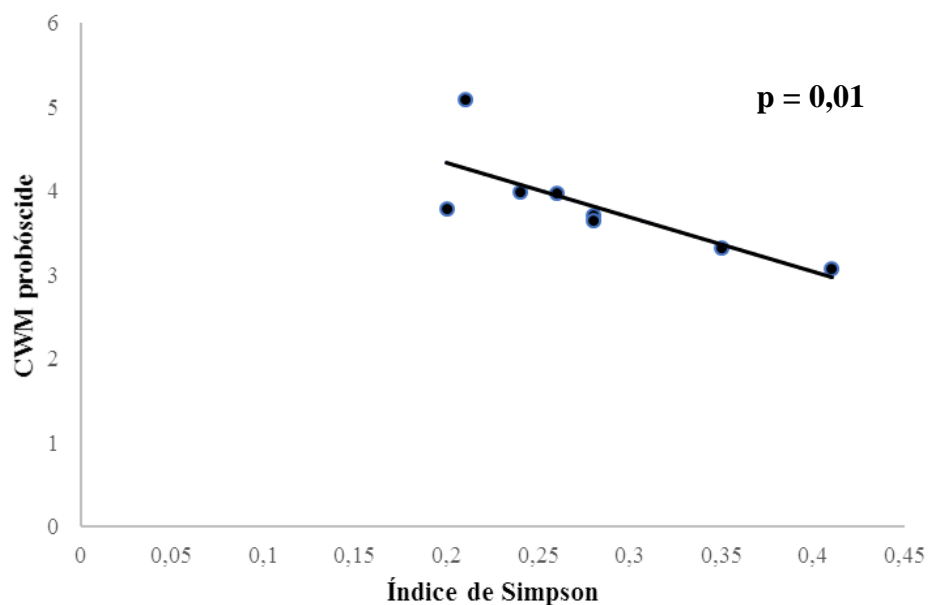


Figura 2. Asociación entre la media ponderada de la comunidad (CWM) del largo de probóscide y la dominancia de Simpson en los Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

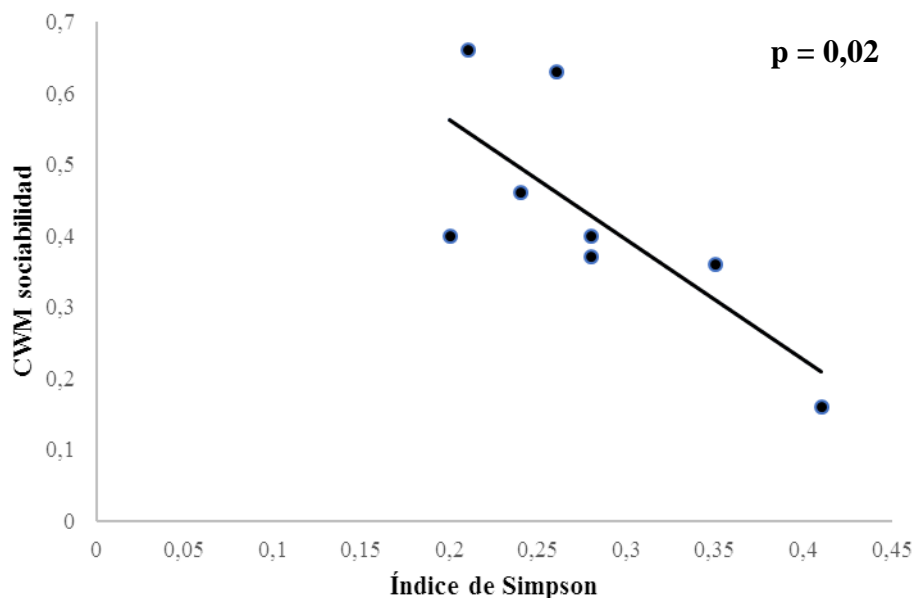


Figura 3. Asociación entre la media ponderada de la comunidad (CWM) de la sociabilidad y la dominancia de Simpson en los Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

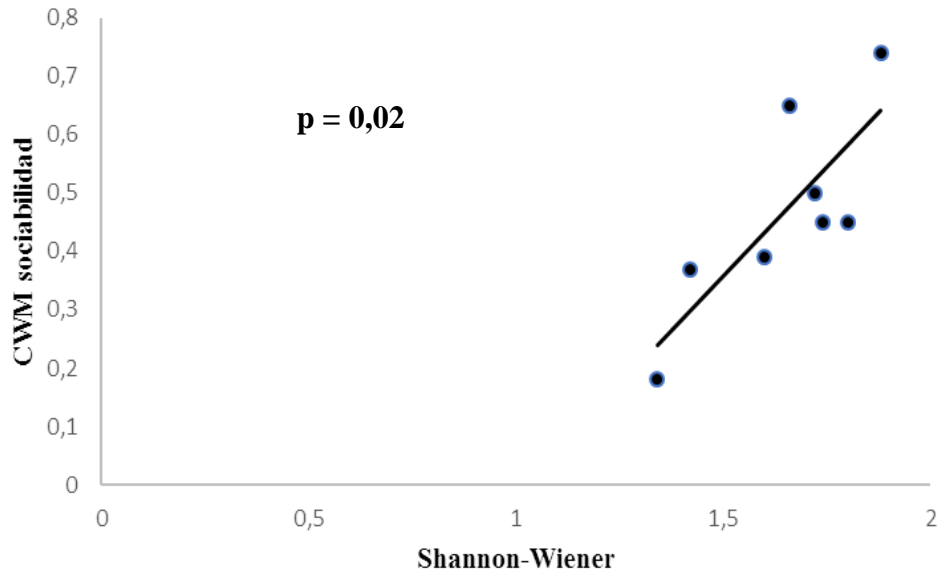


Figura 4. Asociación entre la media ponderada de la comunidad (CWM) de la sociabilidad y la diversidad de Shannon Wiener en los Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

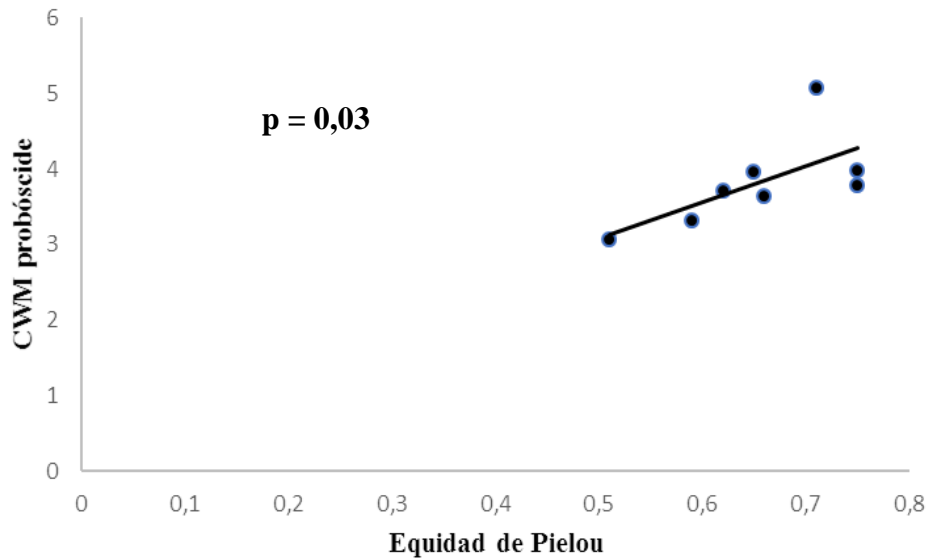


Figura 5. Asociación entre la media ponderada de la comunidad (CWM) del largo de probóscide y la equidad de Pielou en los Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

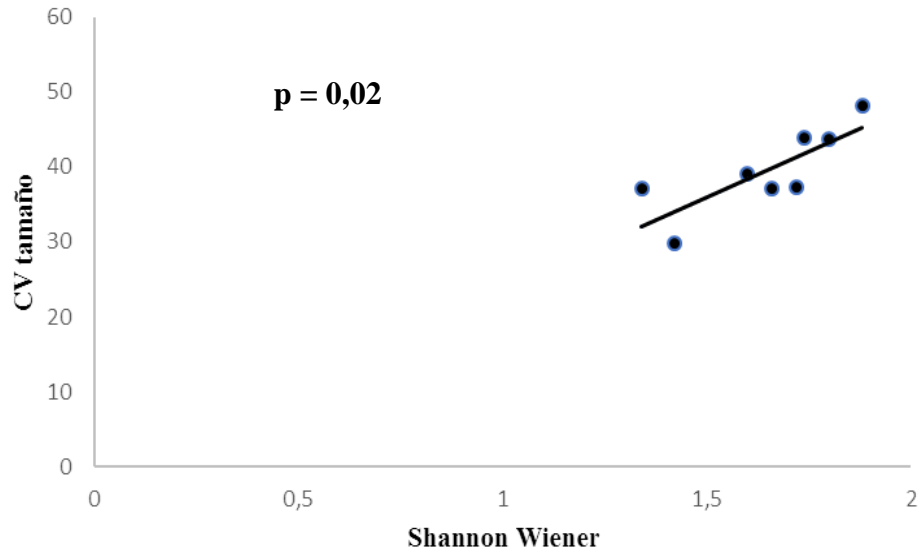


Figura 6. Asociación entre el índice de diversidad de Shannon Wiener y el coeficiente de variación del tamaño corporal en los Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

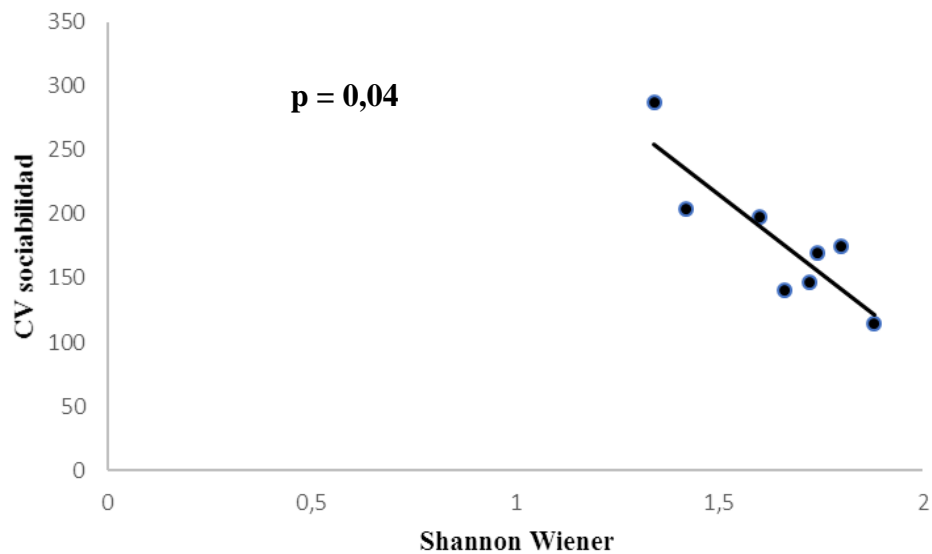


Figura 7. Asociación entre el índice de diversidad de Shannon Wiener y el coeficiente de variación de sociabilidad en los Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

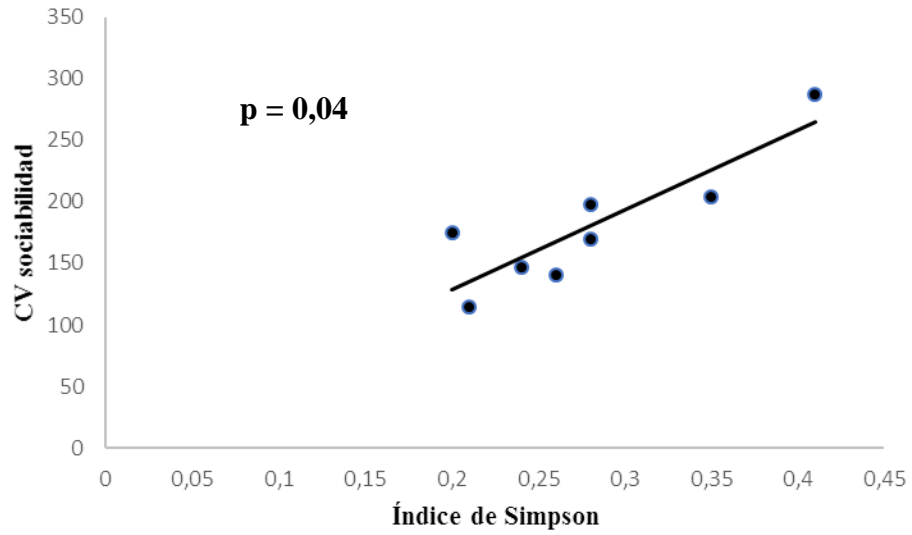


Figura 8. Asociación entre el índice de Simpson y el coeficiente de variación de sociabilidad en los Apoidea colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

Syrphidae

Se colectaron 201 sírfidos de 12 especies en total, 10 nativas y 2 exóticas. El índice de completitud, utilizando la riqueza estimada por Chao1, resultó cercano a 1 en la mayoría de los sitios, indicando una adecuada representatividad excepto en los sitios 2 y 5, donde los valores fueron 0,38 y 0,57, respectivamente.

Composición y abundancia

La especie más abundante fue *Toxomerus vertebratus*, representando el 73% del total de las muestras con 146 individuos. En orden de abundancia, la siguen *Eumerus strigatus* con 21 individuos y *Eristalis tenax* con 15 (Tabla 7)

Tabla 7. Abundancia de especies de la familia Syrphidae colectadas en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018. Se indican los valores totales y por sitio.

Especie	Total	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Toxomerus vertebratus</i>	146	7	21	29	6	23	18	6	36
<i>Allograpta exotica</i>	5	1	1	2	1	0	0	0	0
<i>Allograpta pulchra</i>	3	1	0	0	1	0	0	0	1
<i>Eumerus strigatus*</i>	21	0	1	2	0	1	8	9	0
<i>Allograpta hortensis</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Toxomerus calceolatus</i>	2	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Platycheirus chalconota</i>	2	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Eristalis tenax*</i>	15	0	0	1	2	1	5	5	1
<i>Platycheirus fenestrata</i>	2	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Dolychogina chilensis</i>	2	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Palpada elegans</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Palpada chilena</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0

* Especies exóticas

Diversidad taxonómica de Syrphidae

La riqueza osciló entre 3 y 8 especies por sitio, con un promedio de 4,5 especies. La diversidad de Shannon-Wiener alcanzó su máximo en el 6 y su mínimo en el 8. Las especies están presentes de forma más equitativa (Equidad de Pielou) en el sitio 7. Por el contrario, el sitio 8, mostró la menor equitatividad y también la mayor dominancia de Simpson. Para este último índice, se registró la dominancia más baja en el frutillar 6 (Tabla 8).

Tabla 8. Diversidad taxonómica por sitio de sírfidos colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8
Riqueza	3	6	4	5	4	8	3	3
Shannon Wiener	0,68	0,8	0,57	1,29	0,48	1,5	1,07	0,24
Equidad de Pielou	0,62	0,45	0,41	0,8	0,35	0,72	0,97	0,22
Simpson	0,63	0,66	0,74	0,36	0,79	0,31	0,35	0,9

Diversidad funcional de Syrphidae

Índices de múltiples rasgos: La riqueza funcional varió entre el sitio 1, que presentó el valor más bajo, y el 6 el cual obtuvo el valor mayor. Según el índice de equitatividad, el sitio 2 presenta la distribución más pareja de sus rasgos. En oposición, el sitio 5 resultó ser el menos parejo. Los valores de dispersión funcional reflejan que el sitio 2 y el 7, tienen el menor y mayor valor respectivamente (Tabla 9).

Tabla 9. Diversidad funcional multi rasgo por sitio de sírfidos colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018. FRic: Riqueza funcional, FEve: Equidad funcional, FDis: Dispersión funcional.

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8
FRic	0,002	0,15	1,29	0,95	1,21	1,85	1,17	0,95
FEve	0,34	0,75	0,15	0,43	0,13	0,63	0,31	0,31
FDis	0,22	0,15	0,27	1,09	0,3	1,08	1,34	0,19

Índice de rasgo único: Los sírfidos de estos cultivos suelen ser de un tamaño promedio de 1,69, oscilando entre 1,35 y 2,32 entre sitios. El largo de probóscide promedió 2,11 (Tabla 10). El promedio del coeficiente de variación del tamaño corporal fue 37,5 y de largo de probóscide 20,8 (Tabla 11).

Tabla 10. Diversidad funcional de rasgo único por sitio de sírfidos colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018. CWM: Media ponderada de la comunidad.

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8
CWM tamaño corporal	1,35	1,4	1,48	1,94	1,51	2,09	2,32	1,45
CWM largo de probóscide	1,96	2,02	2,07	2,21	2,12	2,2	2,21	2,12

Tabla 11. Coeficientes de variación (CV) de rasgos únicos por sitio de sírfidos colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018.

Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8
CV tamaño corporal	2,45	6,6	36,9	65,95	41,08	54,91	56,73	35,36
CV largo de probóscide	14,06	9,52	15,77	32,39	15,41	28,74	38,1	12,38

Diversidad taxonómica vs funcional

En el Anexo 2 se muestra la tabla utilizada para el análisis de componentes principales (PCA) y el cálculo de las correlaciones. El PCA muestra que los índices de diversidad taxonómica y funcional explican el 84,4% de variabilidad de las comunidades de Syrphidae en los frutillares estudiados (Figura 9). En este análisis se observa que la dispersión funcional se asocia positivamente con la equidad de Pielou, y negativamente con el índice de Simpson, también el coeficiente de variación de largo de probóscide muestra una asociación positiva con la equidad de Pielou, aunque ninguna correlación de Spearman fue significativa (Tabla 12).

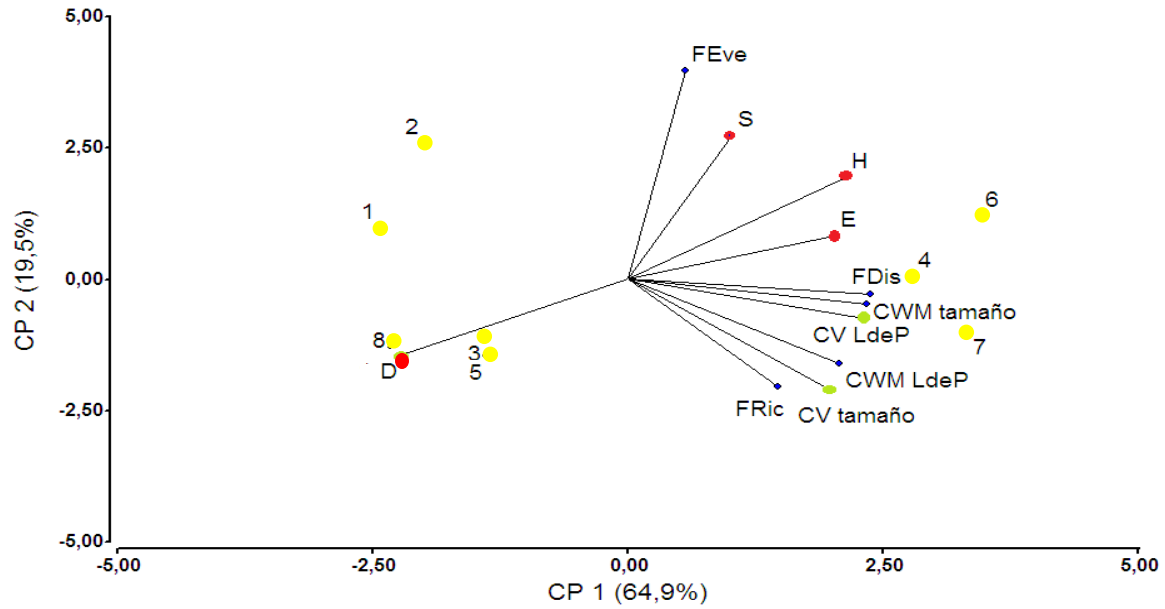


Figura 9. Análisis de componentes principales para la relación entre los índices de diversidad taxonómica y funcional de los sárfidos colectados en los frutillares del Maule, en el verano 2017-2018. En rojo los índices taxonómicos, donde FRic: Riqueza funcional; FEve: Equidad funcional; FDis: Dispersión funcional; CWM: Media ponderada de la comunidad; S: Riqueza de especies; H: Índice de Shannon Wiener; E: Equidad de Pielou; D: Índice de Simpson. En verde se muestran los coeficientes de variación de cada rasgo. En amarillo los sitios.

Tabla 12. Correlaciones de Spearman entre índices taxonómicos y funcionales de Syrphidae. Se muestran debajo de la diagonal los coeficientes de correlación y arriba los valores de “p”. FRic: Riqueza funcional; FEve: Equidad funcional; FDis: Dispersión funcional; CWM: Media ponderada de la comunidad; S: Riqueza de especies; H: Índice de Shannon Wiener; E: Equidad de Pielou; D: Índice de Simpson. No existen asociaciones significativas.

	S	H	E	D	FRic	FEve	FDis	CWM tamaño	CWM probóscide	CV tamaño	CV probóscide
S	1				0,38	0,13	0,93	0,62	0,78	0,54	0,93
H		1			0,69	0,06	0,13	0,15	0,23	0,15	0,12
E			1		1	0,27	0,06	0,13	0,18	0,13	0,05
D				1	0,67	0,16	0,09	0,13	0,25	0,19	0,08
FRic	0,36	0,17	0	-0,18	1						
FEve	0,58	0,68	0,44	-0,55		1					
FDis	0,04	0,57	0,71	-0,64			1				
CWM tamaño	0,21	0,55	0,57	-0,57				1			
CWM probóscide	0,12	0,48	0,53	-0,46					1		
CV tamaño	0,26	0,55	0,57	-0,5						1	
CV probóscide	0,04	0,6	0,74	-0,67							1

DISCUSIÓN

La diversidad taxonómica entrega información de composición relevante al estudiar el servicio de polinización. Sin embargo, la diversidad funcional puede explicar en mayor medida el mecanismo general que une la biodiversidad a los servicios ecosistémicos (Gagic *et al.*, 2015; Gu *et al.*, 2016).

En relación a la composición de los visitantes florales en frutilla, en este estudio la mayor parte fue Apoidea, abarcando un 94% del total de insectos colectados, en tanto los Syrphidae fueron sólo un 6%. Ello se corresponde con lo reportado en la literatura para frutillares de otras partes del mundo (Klein *et al.*, 2007; Rader *et al.*, 2015). En general, en Apoidea y Syrphidae el esfuerzo de muestreo fue suficiente para representar la riqueza real en todos los sitios, con solo la excepción de dos sitios para Syrphidae, lo que sugiere que para esta última familia en futuros estudios sería necesario aumentar los muestreos. De las especies de abejas (n=22) y moscas sírfidas (n=12) colectadas, la gran mayoría fueron nativas (19 y 10, respectivamente) y corresponden a polinizadores comunes de Chile Central (Monzón, 2015). En el caso de las abejas, las únicas especies exóticas (*A. mellifera*, *B. terrestris* y *B. ruderatus*) alcanzaron sólo el 15% del total de individuos capturados y en el caso de los sírfidos, las dos especies exóticas (*E. strigatus* y *E. tenax*) fueron el 18% del total. Estos resultados muestran que los cultivos de frutilla son capaces de soportar ensambles de polinizadores dominados por especies nativas y por tanto pueden ser lugares complementarios para su conservación, algo que las metas de Aichi incentivan en sistemas agrícolas (Perrings *et al.*, 2010).

La diversidad taxonómica y funcional, tanto para Apoidea y Syrphidae, varió entre sitios. Esta variación podría estar relacionada con el paisaje que rodea cada frutillar y también con los manejos agrícolas aplicados en cada uno (Martins *et al.*, 2015). Trabajos previos han mostrado que la diversidad de polinizadores es afectada por la composición y heterogeneidad del paisaje que rodea los cultivos, siendo menos diversos y abundantes cuando el paisaje es más homogéneo y altamente perturbado (Kennedy *et al.*, 2013; Senapathi *et al.*, 2017). En los sitios estudiados, la composición del paisaje varía, con tres de ellos inmersos en un paisaje con bosque nativo, en cambio el resto lo están en paisajes con plantaciones forestales de pino. La evaluación del efecto del paisaje sobre los

ensambles de polinizadores está en curso (Jorge Zamorano⁴, comunicación personal). En cuanto al manejo, los frutillares de la región son parte del PRODESAL de INDAP y ello sugiere que siguen protocolos similares de aplicación de insumos, riego y otros. Sin embargo, es posible que ello igualmente varíe entre sitios, algo que no fue evaluado.

Por otra parte, no siempre los frutillares con mayores valores de los índices taxonómicos coincidieron con aquellos con mayores valores de los índices de diversidad funcional, lo que implica que ambos tipos de índices entregan información complementaria para caracterizar los ensambles de polinizadores en cada sitio (Cadotte *et al.*, 2011).

La equidad taxonómica y funcional de los ensambles, tanto para Apoidea y Syrphidae, en general no fue alta y esto se debió a que en la mayoría de los sitios dominó alguna especie. En Apoidea, *A. submetallicum* dominó en la mayoría de los sitios. Esta especie nativa se caracteriza por ser de tamaño mediano (10 mm), poseer una probóscide corta, tener un comportamiento solitario, pero formando agregaciones, nidifica bajo tierra y su dieta es poliléctica (Spinola, 1851; Rozen y Yanega, 1999). Por otro lado, en Syrphidae, *T. vertebratus* fue la especie que dominó en todos los sitios. Esta especie nativa es de tamaño pequeño y posee una probóscide corta. Según la literatura, las características de estas dos especies las harían más resilientes ante perturbaciones ambientales, resultando en una mayor cantidad de individuos polinizando, lo que sería beneficioso para los cultivos de frutilla, especialmente si la identidad funcional es el mecanismo que explica la función (Díaz *et al.*, 2007; Albrecht *et al.*, 2012; Garibaldi *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2015). Sin embargo, la teoría indica que una baja diversidad (e.g. cuando hay una alta dominancia de especies) podría resultar en una menor polinización cuando las especies cumplen roles complementarios (Díaz y Cabildo, 2001). Para determinar si es la identidad o la complementariedad funcional el mecanismo que facilita la polinización es necesario evaluar el servicio. El presente estudio sienta las bases para hacer tales análisis en este sistema en el futuro.

⁴ Jorge Zamorano Miranda. Laboratorio de Ecología de Ambientes Fragmentados, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile.

Coincidente con lo anterior, la media ponderada de la comunidad (CWM) mostró que en Apoidea generalmente dominan los individuos pequeños a medianos, de probóscide corta, solitarios, con hábitos de nidificación bajo suelo y con dieta poliléctica, y en Syrphidae, dominan individuos pequeños y de probóscide corta. Es probable que esta coincidencia se deba a la dominancia de las especies descritas anteriormente.

Los coeficientes de variación (CV) del tamaño corporal y largo de probóscide de Apoidea y Syrphidae variaron menos entre sitios que los rasgos de comportamiento, lo que sugiere que el CWM representaría bien el nivel de los rasgos morfológicos que dominan en cada sitio. En particular, los CV de los rasgos de comportamiento en Apoidea fueron altos, lo que implica que dentro de cada sitio los ensamblajes tienen valores muy distintos en cuanto a niveles de sociabilidad, nidificación y dieta, y habría que estimar cómo ello afecta en la polinización. Sin embargo, esto podría deberse a que para categorizar cada nivel de rasgo de comportamiento se utilizaron números enteros (0, 1 y 2), lo que aumenta la dispersión (Zar, 1999).

En este estudio, la variación de los rasgos se evaluó entre especies, sin embargo, la literatura indica que la variación intraespecífica también puede ser relevante para entender el rol de esta variabilidad en el servicio. La variabilidad intraespecífica es especialmente importante en plantas, afectando sus respuestas a los filtros ambientales (Jung *et al.*, 2010). Sin embargo, en animales la variabilidad intraespecífica en los rasgos parece ser menos relevante, como lo observaron Gaudard *et al.* (2019) en hormigas, en las que la variación total de rasgos funcionales se explica principalmente por la variación entre especies.

Los componentes 1 y 2 de los PCA para Apoidea y Syrphidae explicaron cerca del 70% de la variabilidad total de los ensamblajes de polinizadores. En Apoidea, se observan asociaciones entre las variables de diversidad funcional y taxonómica, aunque solo algunas resultaron significativas en las correlaciones lineales. Las asociaciones encontradas posiblemente estén fuertemente influenciadas por la especie dominante *A. submetallicum*. Ejemplos de ello son las asociaciones negativas entre la dominancia de Simpson con la CWM de sociabilidad y con la CWM del largo de probóscide. Estas asociaciones sugieren que a medida que aumenta la dominancia de *A. submetallicum*, los valores más frecuentes de ambos rasgos disminuyen, lo que tiene sentido al considerar que esta especie se

caracteriza por poseer una probóscide corta y ser solitaria. Por otra parte, la equidad de Pielou y la CWM de largo de probóscide se asociaron positivamente, sugiriendo que al aumentar la cantidad de especies distintas a *A. submetallicum*, el promedio ponderado de largo de probóscide estaría menos influenciado por la probóscide corta de esta especie y por lo tanto el CWM aumenta. En Syrphidae el PCA también muestra asociaciones entre índices, pero las correlaciones lineales no entregaron ningún valor significativo. Es de hacer notar que en Apoidea, varias de las asociaciones entre índices de diversidad funcional y taxonómica ocurrieron con variables de comportamiento. Estas variables no pudieron cuantificarse en Syrphidae porque en la literatura no existe información. La inclusión de estas variables en futuros estudios podría ser interesante para ver si ocurre lo mismo que lo observado en Apoidea.

Garibaldi *et al.* (2015) vieron que en cultivos de todo el mundo la relación entre diversidad taxonómica y funcional era positiva y lineal implicando una baja redundancia funcional entre las especies. En este estudio encontramos que la diversidad taxonómica y funcional de polinizadores de frutillares en la región del Maule en su mayoría no estaba asociadas, lo que sugiere que habría una alta redundancia funcional en la comunidad y que una mayor riqueza de especies no necesariamente aumentaría el número de funciones ecológicas (Violle *et al.*, 2007; Garibaldi *et al.*, 2015). Según algunos autores, en los casos de alta redundancia, la diversidad funcional tendría una mayor influencia y por lo tanto explicaría de mejor forma que la taxonómica el servicio de polinización (Cadotte *et al.*, 2011; Gagic *et al.*, 2015).

La relación entre diversidad taxonómica y funcional cambia según múltiples factores, como el clima, tipo de cultivo y paisaje (Cadotte *et al.*, 2011), por lo que para aumentar la generalización de este fenómeno es necesario evaluarla bajo distintos escenarios. Este trabajo es uno de los primeros en caracterizar funcionalmente ensambles de insectos polinizadores en sistemas agroalimentarios de Chile. Los resultados de esta investigación enfatizan en la complejidad y variedad de factores que influyen en la relación entre diversidad taxonómica y funcional. La información entregada por ambas aproximaciones genera posibles criterios para la decisión sobre estrategias de manejo agrícola orientadas a

la gestión de polinizadores y a la protección de áreas de conservación que sean potenciales aportes para la agricultura y por lo tanto a la seguridad alimentaria.

CONCLUSIONES

Los frutillares de la Región del Maule contienen polinizadores nativos por lo que pueden ser hábitats complementarios para su conservación.

Las especies dominantes en estos frutillares fueron *Acamptopoeum submetallicum* (Andrenidae) para Apoidea y a *Toxomerus vertebratus* para Syrphidae, ambas especies nativas.

La diversidad taxonómica y funcional de Apoidea y Syrphidae varió entre sitios. Esto podría estar relacionado al impacto que tiene el paisaje y los manejos agrícolas sobre la biodiversidad.

La ausencia de relación entre la diversidad taxonómica y funcional sugiere una alta redundancia funcional en los ensambles de visitantes florales.

BIBLIOGRAFÍA

ALBRECHT, M.; SCHMID, B.; HAUTIER, Y.; MÜLLER, C. 2012. Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 279:4845-4852.

BOMMARCO, R.; KLEIJN, D.; POTTS, S. 2013. Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends Ecol. Evol.* 28(4): 230–238.

BOYD, J.; BANZHAF, S. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecol. Econ.* 63: 616-626

CADOTTE, M.; CARSCADDEN, K.; MIROTCHNICK, N. 2011 Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *J. Appl. Ecol.* 48(5):1079–1087.

CANE, J. 1987. Estimation of bee size using intertegular span (Apoidea). *J. Kans. Entomol. Soc.* 60(1):145–147.

CARIVEAU, D.; NAYAK, G.; BARTOMEUS, I.; ZIENTEK, J.; ASCHER, J.; GIBBS, J.; WINFREE, R. 2016. The allometry of bee proboscis length and its uses in ecology. *PLoS ONE.* 11(3):1–13.

CHAGNON, M.; GINGRAS, J.; DEOLIVEIRA, D. 1993. Complementary Aspects of Strawberry Pollination by Honey and Indigenous Bees (Hymenoptera). *J Econ. Entomol.* 86(2):416-420.

CHIAPPA, E.; ROJAS, M.; TORO, H. 1990. Clave para los géneros de abejas de Chile (Hymenoptera: Apoidea). *Rev. Chilena Ent.* 18: 67-81

COLWELL, R.; CODDINGTON, J. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philos. Trans. Royal Soc.* 345: 101–118.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. 2001. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends Ecol. Evol.* 16:646–655.

DÍAZ, S.; LAVOREL, S.; DE BELLO, F.; QUÉTIER, F.; GRIGULIS, K.; ROBSON, T. 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. PNAS USA. 104:20684–20689.

DI RIENZO, J.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO C. 2008. *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

DI RIENZO, J.; CASANOVES, F.; PLA, L. 2008. *FDiversity, versión 2008*. Córdoba, Argentina.

GAGIC, V.; BARTOMEUS, I.; JONSSON, T.; TAYLOR, A.; WINQVIST, C.; ET AL. 2015. Functional identity and diversity of animals predict ecosystem functioning better than species-based indices. Proc. Roy. Soc. Lond. B. 282(1801):20142620.

GARIBALDI, L.; STEFFAN-DEWENTER, I.; WINFREE, R.; AIZEN, M.; BOMMARCO, R.; CUNNINGHAM, S.; ET AL. 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. Science. 339(6127):1608–1611.

GARIBALDI, L.; BARTOMEUS, I.; BOMMARCO, R.; KLEIN, A.; CUNNINGHAM, S.; AIZEN, M.; WOYCIECHOWSKI, M. 2015. Trait matching of flower visitors and crops predicts fruit set better than trait diversity. J. Appl. Ecol. 52(6):1436–1444.

GAUDARD, C.; ROBERTSON, M.; BISHOP, T. 2019. Low levels of intraspecific trait variation in a keystone invertebrate group. Oecologia. 190(4):725-735.

GREENLEAF, S.; WILLIAMS, N.; WINFREE, R.; KREMEN, C. 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. Oecologia. 153(3):589–596.

GU, J.; ZHOU, J.; WILSON, M.; JIA, K.; LV, K.; XU, Z. 2016. Species diversity and functional diversity of insects in Wuxijiang National Wetland Park, East China. Acta Ecol. Sin. 36(5):386–391.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.; RYAN, P. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol Electron.* 4(1): 9pp.

HASS, A.; LIESE, B.; HEONG, K.; SETTELE, J.; TSCHARNTKE, T.; WESTPHAL, C. 2018. Plant-pollinator interactions and bee functional diversity are driven by agroforests in rice-dominated landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 253:140–147.

JUNG, V.; VIOLLE, C.; MONDY, C.; HOFFMANN, L.; MULLER, S. 2010. Intraspecific variability and trait-based community assembly. *J Ecol* 98:1134–1140.

KLUSER, S.; PERDUZZI, P. 2007. *Global Pollinator Decline: A Literature Review.* United Nations Environment Programme/ Global Resource Information Database. Génova, Italia. 10 p.

KREBS, C. 1994. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance.* 6th ed. HarperCollins College Publishers. New York, USA.

KLEIN, A.; VAISSIÈRE, B.; CANE, J.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S.; KREMEN, C.; TSCHARNTKE, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Roy. Soc. Lond. B.* 274(1608):303–313.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology.* 91(1): 299-305.

LEGRAS, G.; LOISEAU, N.; GAERTNER, J.; POGGIALES, J.; GAERTNER-MAZOUNI, N. 2019. Assessing functional diversity: the influence of the number of the functional traits. *Theor Ecol.* 12:1-10

MAGURRAN A. 1988. Why diversity? **In:** *Ecological Diversity and Its Measurement.* Springer, Dordrecht, Holland. pp 1-5.

MARTINS, K.; GONZALEZ, A.; LECHOWICZ, M. 2015. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agr. Ecosyst. Environ.* 200:12–20.

MICHENER, C. 2000. The bees of the world. 2nd ed. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, USA. 913 p.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005 Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington, DC: Island Press.

MORALES, C. (Ed.) 2017. Manual de manejo agronómico de la frutilla. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA n° 17 ISSN 0717-4829. Santiago, Chile.

MONZÓN, V. 2015. Guía de abejas nativas de la Región del Maule. Universidad Católica del Maule. Talca, Chile.

PEFAUR, J. 2014. El Mercado de las frutillas. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Santiago, Chile.

PERRINGS, C.; NAEEM, S.; AHRESTANI, F.; BUNKER, D.; BURKILL, P.; CANZIANI, G.; ELMQVIST, T.; FERRATI, R.; FUHRMAN, J.; JAKSIC, F.; KAWABATA, Z.; KINZIG, A.; MACE, G.; MILANO, F.; MOONEY, H.; PRIEUR-RICHARD, A.; TSCHIRHART, J.; WEISSER, W. 2010. Ecosystem Services for 2020. Science 330: 323-324.

KENNEDY, C.; LONSDORF, E.; NEEL, M.; WILLIAMS, N.; RICKETTS, T.; WINFREE, R.; CARVALHEIRO, L; ET AL. 2013. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. Ecol. 16(5), 584-599.

RADER, R.; BARTOMEUS, I.; GARIBALDI, L.; GARRATT, M.; HOWLETT, B.; WINFREE, R.; ANDERSSON, G.; ET AL. 2015. Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. P. Nat. A. Sci. B. 113(1):146-151.

ROZEN, J.; YANEGA, D. 1999. Nesting biology and immature stages of the South American bee genus *Acamptopoeum* (Hymenoptera: Andrenidae: Panurginae). University of Kansas Natural History Museum Special Publication. 24:59-76.

SENAPATHI, D.; GODDARD, M.; KUNIN, W.; BALDOCK, K. 2017. Landscape impacts on pollinator communities in temperate systems: evidence and knowledge gaps. *Funct Ecol.* 31:26–37

SHI, J.; LUO, Y.; BERNHARDT, P.; RAN, J.; LIU, Z.; ZHOU, Q. 2009. Pollination by deceit in *Paphiopedilum barbiggerum* (Orchidaceae): a staminode exploits the innate colour preferences of hoverflies (Syrphidae). *Plant Biol.* 11(1):17–28.

SPINOLA, M. 1851. Himenopteros. En Gay C. (Ed.) *Historia Física y Política de Chile. Zoologia.* Paris, Francia. 572 pp.

THOMPSON, F.; THOMPSON, B. 2006. A new *Toxomerus* species from Chile (Diptera: Syrphidae). *Studia dipt.* 13(2): 317-331

VIOLLE, C.; NAVAS, M.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos.* 116:882-892.

VRDOLJAK, S.; SAMWAYS, M. 2011. Optimising coloured pan traps to survey flower visiting insects. *J. Insect Conserv.* 16(3):345–354.

ZAR, J. 1999. *Biostatistical Analysis.* 4th ed. Prentice Hall. Michigan, USA. 663 p.

ANEXO N°1

Tabla utilizada para el cálculo de la correlación de Spearman y análisis de componentes principales de Apoidea. Donde, **FRic**: Riqueza funcional; **FEve**: Equidad funcional; **FDIs**: Dispersión funcional; **CWM**: Media ponderada de la comunidad; **S**: Riqueza de especies; **H**: Índice de Shannon Wiener; **E**: Equidad de Pielou; **1-D**: Índice de Simpson; **CV**: Coeficiente de variación.

SITIO	FRic	FEve	FDIs	CWM tamaño	CWM probóscide	CWM sociabilidad	CWM nidificación	CWM dieta	S	H	E	1-D	CV tamaño	CV probóscide	CV sociabilidad	CV nidificación	CV dieta
1	0,17	0,45	2,39	2,45	3,71	0,39	0,12	0,81	13	1,6	0,62	0,28	39,1 6	66,9 1	197, 85	266,3 1	48,3 1
2	0,21	0,64	2,44	2,51	3,64	0,45	0,07	0,85	14	1,74	0,66	0,28	43,8 9	75,4 1	170, 06	358,0 9	41,7 9
3	0,21	0,62	2,59	2,52	3,97	0,65	0,27	0,77	13	1,66	0,65	0,26	37,1 3	62,4 7	140, 3	166,7	54,7 9
4	0,18	0,55	1,86	2,35	3,32	0,37	0,16	0,76	11	1,42	0,59	0,35	29,8 4	58,3	204, 24	233,2 2	56,3 7
5	0,28	0,42	1,56	2,3	3,07	0,18	0,01	0,74	14	1,34	0,51	0,41	37,1 1	67,4 5	287, 73	1103, 62	59,9 8
6	0,25	0,48	2,82	2,71	5,08	0,74	0,08	0,51	14	1,88	0,71	0,21	48,2 9	57,2 6	114, 49	331,6	98,8 4
7	0,25	0,59	2,3	2,24	3,78	0,45	0,14	0,48	11	1,8	0,75	0,2	43,6 5	62	175, 04	251,4 7	104, 14

8	0,19	0,56	2,02	2,39	3,99	0,5	0,06	0,51	10	1,72	0,75	0,24	37,3	55,6	146,	388,8	97,1
													5	8	36	1	8

ANEXO N°2

Tabla utilizada para el cálculo de la correlación de Spearman y análisis de componentes principales de Syrphidae. Donde, **FRic**: Riqueza funcional; **FEve**: Equidad funcional; **FDis**: Dispersión funcional; **CWM**: Media ponderada de la comunidad; **S**: Riqueza de especies; **H**: Índice de Shannon Wiener; **E**: Equidad de Pielou; **1-D**: Índice de Simpson; **CV**: Coeficiente de variación.

Sitio	S	H	E	1-D	FRic	FEve	FDis	CWM tamaño	CWM probóscide	CV tamaño	CV probóscide
1	3	0,68	0,62	0,63	0,002	0,34	0,22	1,35	1,96	2,45	14,06
2	6	0,8	0,45	0,66	0,15	0,75	0,15	1,4	2,02	6,6	9,52
3	4	0,57	0,41	0,74	1,29	0,15	0,27	1,48	2,07	36,9	15,77
4	5	1,29	0,8	0,36	0,95	0,43	1,09	1,94	2,21	65,95	32,39
5	4	0,48	0,35	0,79	1,21	0,13	0,3	1,51	2,12	41,08	15,41
6	8	1,5	0,72	0,31	1,85	0,63	1,08	2,09	2,2	54,91	28,74
7	3	1,07	0,97	0,35	1,17	0,31	1,34	2,32	2,21	56,73	38,1
8	3	0,24	0,22	0,9	0,95	0,31	0,19	1,45	2,12	35,36	12,38