

Importancia de las abejas (Hymenoptera: Apoidea)
en la polinización de cultivos de cucurbitáceas
(Cucurbitaceae) en el área productiva del Cinturón
Hortícola Platense

Lic. Pablo José Ramello

Trabajo de tesis doctoral

Directores:

- Dr. Mariano Lucia
- Dra. Lorena Ashworth

Facultad de Ciencias Naturales y Museo
Universidad Nacional de La Plata

Agradecimientos

A mi familia, Pato, Dante, Mati y Sarita, pilares fundamentales en mi vida y que durante tantos años me supieron acompañar en este largo camino en la carrera de biología. A ellos les debo que hoy esté concretando esta etapa ya que sin su apoyo incondicional nunca hubiere podido llegar a estar en donde estoy.

A Silvina Canteros por acompañarme día tras día durante este largo proceso y por escucharme tantas veces hablar sobre abejas, flores y naturaleza.

A mis amigos y amigas de la vida que me acompañan desde hace tantos años y con los que compartí tantos buenos momentos, en especial a Nachito, Facu, Foli, Luis, Anita, Anto, Cami, Barbi, Néstor, Cristian, Lucho y Diego.

A los chicos del laboratorio que me enseñaron todo lo que sé sobre abejas y sobre la importancia de forjar lazos humanos que enriquecen al conocimiento científico. En particular a Mariano Lucia y a Leopoldo Álvarez, que siempre hicieron todo lo posible para enseñarme sobre el mundo de las abejas y para que siempre de lo mejor de mí. A Valentín Almada, que me ayudó en más de una oportunidad durante el transcurso de esta investigación y siempre con la mejor predisposición. A los tres, gracias por compartir tantas campañas, charlas, mates y horas de trabajo!

A todos los compañeros de a facu y que con algunos llegué a forjar una amistad que perdura hasta el día de hoy. En especial a Victoria Fernández Blanco, Facundo Iacona y Ana Carignano, Mauricio Cerroni, Micaela Medina, Giselle "Tucu" Mangini y Facundo Gandoy, Francisco Roca, Horacio "chino" Frazer, Elena Fabro, Facundo Disallo, Andrea Falcone, Soledad Cecarelli, Luján Ahumada, María Eugenia Pereyra y Julia "Jupi" Bazzani. También una dedicatoria especial a Julia Luna y a su familia por todo el apoyo que me brindaron durante una gran parte de la tesis.

En especial a mis directores Dr. Mariano Lucia y Dra. Lorena Ashworth, por confiar en mí para llevar a cabo este proyecto y por el apoyo constante que me dieron durante el transcurso de la realización de esta tesis. Gracias por aconsejarme cada vez que tuve alguna inquietud y por darme herramientas para desarrollarme profesionalmente. También un agradecimiento especial al Dr. Alberto H. Abrahamovich que me permitió iniciarme en el mundo científico.

A todas las personas que me brindaron su ayuda e ideas en el transcurso de esta tesis, en particular a la Dra. Bárbara DeFea, Dra. Ana M. Marino de Remes Lenicov, Dra. Eugenia Brentassi, Dr. Álvaro Foieri y la Dra Susana Paradell. Una mención especial a los Dres. Fernando Zamudio y Ramiro Aguilar y a la Dra. Julia Astegiano, cuyas charlas y comentarios enriquecieron el desarrollo de esta tesis.

A los integrantes de la cátedra Fisiología Animal de la FCNyM por el compañerismo y el apoyo constante durante la realización de la tesis.

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata por la formación académica brindada durante la carrera de grado y luego durante la realización de la presente tesis doctoral. Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por otorgarme la beca doctoral con la cual pude llevar a cabo este proyecto.

A los jurados de tesis Dr. Juan Pablo Torretta, Dra. Lilian Mónica Passarelli y al Dr. Pablo Cavigliasso por los valiosos comentarios y sugerencias que contribuyeron a mejorar notablemente el manuscrito.

Finalmente quiero agradecer a los productores y técnicos que amablemente me permitieron realizar los ensayos en sus establecimientos del Cinturón Hortícola Platense y que siempre se prestaron para enseñarme el oficio de trabajar la tierra y la observación, cuyas historias enriquecieron notablemente mi conocimiento sobre las abejas y los cultivos. En especial a los productores Mariana del Pino, Luciano Cano, a los miembros de Colectivo Orgánico, flia Olmos, y al resto de productores con los que tuve el gusto de charlar. Por último quiero agradecer al Ing, Agr. Andrés Taylor quien siempre estuvo dispuesto a responder todas mis consultas sobre los cultivos.

Esta tesis doctoral está dedicada a la memoria de Coca, Fito y Omar, que desde que era muy pequeño me llevaron de la mano a conocer el mundo de la biología y a dar mis primeros pasos en el estudio de la misma

Índice de contenido

Agradecimientos	i
Índice de contenido.....	iii
Resumen.....	vi
Abstract	x
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Introducción.....	2
Polinizadores en ecosistemas naturales y cultivos de interés agrícola.	2
Importancia de la presencia de bordes de cultivo como ambientes seminaturales para la diversidad de plantas y el mantenimiento de polinizadores.....	5
Importancia de las abejas como principales polinizadores en diversos ecosistemas....	5
Nivel de dependencia de los cultivos a los insectos polinizadores.....	7
Cucurbitáceas como un cultivo importante para el hombre. Introducción a cultivos de cucurbitáceas.	8
Polinización de cultivos de cucurbitáceas. Características reproductivas del género <i>Cucurbita</i>	8
Cultivos de cucurbitáceas importantes en nuestro país. Principales especies cultivadas, zonas de cultivo e introducción al Cinturón Hortícola Platense (CHP).	9
Problemáticas acerca de la temática de estudio.....	11
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
Hipótesis general.....	13
Predicciones	13
MATERIALES Y MÉTODOS	13
Área de estudio.....	13
Características de los establecimientos estudiados	14
Estudios de cultivos de cucurbitáceas	20
CAPITULO II: DIVERSIDAD DE ABEJAS PRESENTES EN BORDES DE CULTIVO DEL CINTURÓN HORTÍCOLA PLATENSE	25
Introducción.....	26
Materiales y métodos.....	29
Trabajo de campo	29
Establecimientos estudiados y temporadas de muestreo.....	29
Metodología de recolección y toma de datos.....	31
Trabajo en el laboratorio.....	32

Procesamiento e identificación de abejas y plantas.....	32
Análisis de los datos.....	33
Análisis de la apifauna.....	33
Análisis de la riqueza de plantas donde se observó la actividad de abejas	38
Resultados	39
Diversidad de abejas	39
Discusión	67
ANEXO.....	77
CAPÍTULO III: DIVERSIDAD DE ABEJAS PRESENTES EN CULTIVOS DE CUCURBITACEAS	
Introducción.....	82
Materiales y métodos.....	84
Trabajo de campo	84
Establecimientos estudiados y temporadas de muestreo.....	84
Cultivo de cucurbitácea estudiado.....	85
Metodología de recolección de abejas.....	85
Trabajo en el laboratorio.....	86
Diversidad y riqueza de abejas.....	86
Identificación de los individuos recolectados.....	88
Resultados	88
Riqueza y abundancia de abejas en cultivos de <i>Cucurbita maxima</i>	88
Diversidad de abejas en cultivos de <i>Cucurbita maxima</i>	93
Discusión.....	100
Riqueza de especies, géneros y familias de abejas observadas.....	100
Diversidad.....	104
Visitas.....	106
ANEXO.....	109
CAPITULO IV: POLINIZACIÓN DE CULTIVOS DE CUCURBITÁCEAS EN EL CINTURÓN HORTÍCOLA PLATENSE.....	
Introducción.....	112
Hipótesis.....	114
Predicción.....	114
Materiales y métodos.....	115
Período y sitios de estudio	115
Metodología general de recolección y toma de datos.....	115

Metodología para los ensayos de Eficiencia.....	116
Metodología para los ensayos de Eficacia.....	117
Importancia de diferentes especies de abejas en la polinización del cultivo de <i>Cucurbita maxima</i>	118
Trabajo en el laboratorio.....	119
Cuantificación de polen en estigma	119
Tamaño de las abejas	120
Análisis estadístico.....	120
Resultados.....	122
Eficiencia	122
Eficacia.....	130
Importancia de los polinizadores	132
Discusión.....	135
Importancia.....	141
ANEXO.....	143
CAPITULO V: DISCUSIÓN FINAL.....	146
Diversidad y riqueza de abejas en el área de estudio y en establecimientos con distinto manejo agrícola	147
Diversidad y riqueza de abejas presentes en flores del borde de cultivo.....	147
Diversidad de abejas en cultivos de <i>Cucurbita maxima</i> presentes en establecimientos con distinto manejo agrícola	150
Eficacia, eficiencia e importancia de las especies de abejas que visitan los cultivos de <i>Cucurbita maxima</i>	153
Limitaciones del estudio.....	155
Perspectivas futuras	156
BIBLIOGRAFÍA	158

Resumen

La polinización llevada a cabo por animales representa un proceso crítico en el funcionamiento de los ecosistemas naturales debido a que cerca del 90% de las especies de angiospermas dependen de la polinización realizada por animales para reproducirse sexualmente, incluidos numerosos cultivos de importancia para la alimentación humana. Las abejas (Hymenoptera: Apoidea) representan el grupo de insectos más importantes que intervienen en la polinización de numerosas especies vegetales, tanto en poblaciones naturales como cultivos de interés agrícola. Entre los cultivos de importancia mundial, se encuentra la familia Cucurbitaceae que presenta numerosas especies cultivadas, algunas de las cuales pertenecen al género *Cucurbita*. Dicho género cuenta con especies cuyos individuos presentan flores unisexuales masculinas y femeninas sobre la misma planta, siendo dependientes de la presencia de vectores bióticos para su polinización, entre los cuales se destacan las abejas. Una de las especies es *C. maxima* Duchesne, domesticada exclusivamente en Sudamérica, y que es ampliamente cultivada en el Cinturón Hortícola Platense (CHP).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la diversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) sobre la polinización y producción de frutos de cultivos de Cucurbitáceas en agroecosistemas hortícolas con distinto manejo agrícola (orgánico, convencional y en transición agroecológica) del Gran La Plata (Buenos Aires, Argentina). La presente tesis contó con los siguientes objetivos específicos: 1) Conocer y comparar la riqueza, abundancia y diversidad de las especies de abejas presentes en bordes de cultivo en establecimientos del CHP con diferentes manejos agrícolas (orgánicos, convencionales y en transición agroecológica). 2) Identificar las principales fuentes de alimento utilizadas por las abejas en bordes de cultivo del área de estudio. 3) Determinar y comparar la diversidad y composición de la apifauna presente en cultivos de cucurbitáceas bajo distintos manejos agrícolas llevados a cabo en los establecimientos hortícolas. 4) Evaluar la importancia de las principales especies de abejas en la polinización de cucurbitáceas a través de su eficiencia (número de granos de polen depositados en los estigmas florales en cada visita) y eficacia (porcentaje de fructificación). 5) Determinar las especies de abejas más importantes para la polinización de cucurbitáceas presentes en el CHP a través de su frecuencia de visitas y de su eficiencia.

Los dos primeros objetivos fueron llevados a cabo en ocho establecimientos hortícolas ubicados en cinco localidades dentro del CHP durante dos temporadas consecutivas. Se registraron un total de 79 especies de abejas pertenecientes a 33 géneros agrupadas en las familias Andrenidae, Apidae, Colletidae, Halictidae y Megachilidae. El 53,16% de las especies observadas fueron consideradas como “comunes” en el área de estudio. La riqueza de abejas observadas varió según los períodos de actividad de cada especie en particular, con los valores más altos registrados durante el verano medio y el tardío. Las especies registradas presentaron diferentes grados de sociabilidad (solitarias, sociales y cleptoparasitas), hábitos alimenticios (oligolécticas y polilécticas) y sustratos de nidificación (por encima del suelo y por debajo del mismo). La diversidad de abejas presente en los bordes de cultivo no varió significativamente entre los distintos manejos agrícolas, sin embargo se observó una tendencia de valores más altos calculados para los establecimientos con manejo orgánicos y de transición agroecológica frente a los convencionales. La fenología de cada familia de abejas varió entre la primavera y el verano, presentando tendencias marcadas con un solo momento de mayor actividad excepto para la familia Halictidae que presentó dos picos. Las familias vegetales más utilizadas por las abejas fueron las Asteraceae, Fabaceae, Brassicaceae y Solanaceae, siendo la primera donde se registró más del 80% de las especies de abejas. Se registraron al menos 90 especies vegetales utilizadas como recurso alimenticio por las abejas de las cuales *Carduus acanthoides* L., *Matricaria chamomilla* L. y *Picris echioides* L. registraron la mayor cantidad de especies de abejas de forrajeando sobre ellas. Por otro lado, las especies vegetales más visitadas fueron *Carduus acanthoides*, *Brassica rapa* L., *Trifolium repens* L. y *Matricaria chamomilla*.

El tercer objetivo fue estudiado durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018 a partir de las abejas que visitaron los cultivos de *Cucurbita maxima* presentes en seis de los establecimientos (dos de cada categoría de manejo). Se registraron un total de 16 especies de abejas agrupadas en las familias Apidae y Halictidae (ambas presentaron ocho especies). Las cinco especies más abundantes durante los muestreos fueron *Apis mellifera*, *Peponapis feroens*, *Bombus pauloensis*, *Thytater analis* y *Augochlora amphitrite*, siendo las cuatro primeras pertenecientes a la familia Apidae y la última a la familia Halictidae. Solo la especie *A. mellifera* fue clasificada como “constante” sobre el cultivo durante toda la temporada, mientras que *B. pauloensis* y *P. feroens* se comportaron como “accesorias” y el resto como “accidentales”. Los establecimientos con los valores más altos tanto de diversidad como de equidad, fueron aquellos con manejo de transición

seguidos por los orgánicos y finalmente los convencionales. Con respecto a la actividad del conjunto de abejas sobre el cultivo, las abejas nativas permanecieron más activas durante las primeras horas de la mañana, mientras que la especie más abundante en los ensayos, *A. mellifera*, no presentó una tendencia marcada incrementando su presencia en tres horarios separados.

El rol de las abejas en la polinización de cucurbitáceas fue evaluado a partir de la eficiencia y eficacia de cada especie, teniendo en cuenta su tamaño y el período de vuelo. Para ello se utilizó la técnica de exclusión de polinizadores por medio de una bolsa de voile. Los ensayos de polinización fueron llevados a cabo durante tres temporadas consecutivas (2016-2019) sobre *C. maxima* en siete establecimientos productivos. Los ensayos de eficiencia arrojaron que de las 16 especies de abejas registradas (familias Apidae y Halictidae) 15 de ellas fueron capaces de depositar polen sobre el estigma floral. Las especies de mayor tamaño depositaron significativamente más granos de polen sobre el estigma floral en una sola visita que el resto de las abejas. El valor máximo de granos de polen depositados fue de 2.356 registrado para la abeja *B. pauloensis* y solamente cuatro especies depositaron más de 1.000 granos de polen con una sola visita (*B. pauloensis*, *Xylocopa augusti*, *P. feroens* y *A. mellifera*). El valor promedio de granos de polen depositados para el conjunto de abejas fue de $121,41 \pm 274,89$, mientras que las tres especies con los mayores valores de promedio de depósito de polen fueron *X. augusti*, *B. pauloensis* y *P. feroens*. El estudio de la eficacia polinización de *C. maxima* por diferentes especies de abejas resultó en el 47% de flores femeninas polinizadas luego de una visita, de las cuales solo el 10% produjeron frutos que alcanzaron tamaños normales de cosecha. Finalmente la importancia de cada especie de abeja fue calculada como el producto de su eficiencia promedio con su abundancia relativa. Los resultados indican que sólo seis de las especies fueron consideradas como importantes para la polinización de *C. maxima*, destacándose tres de ellas como las más importantes (*A. mellifera*, *P. feroens* y *B. pauloensis*). El resto de las especies nativas tuvieron valores de importancia inferiores siendo las más reelevantes *X. augusti*, *A. amphitrite* y *T. analis*, destacándose la primera sobre el resto. Se observaron variaciones temporales en el orden de importancia de las especies, con *A. mellifera* como la especie más importante durante el inicio de la floración (primavera tardía y el verano temprano), luego la especie nativa *P. feroens* durante el verano medio y hacia el final de la temporada, las especies más importantes fueron la abeja melífera junto al abejorro *B. pauloensis*.

En conclusión, de las 19 especies de abejas que fueron observadas en cultivos de *C. maxima* en el CHP, las especies pertenecientes a la familia Apidae (*A. mellifera*, *P. fervens*, *B. pauloensis*, *X. augusti* y *T. analis*) junto al halictido *Augochlora amphitrite* fueron las especies más importantes en la polinización del cultivo (relación entre eficiencia y frecuencia de visitas). La abeja *A. mellifera* resultó ser la especie más importante debido a su elevada frecuencia de visitas al cultivo. Por otro lado, la contribución en la polinización de las especies de abejas nativas revisten de gran interés ante la ausencia *A. mellifera* o ante disminuciones en la abundancia de la misma. Se sugiere que una comunidad rica en diversidad de especies de abejas, como las observadas en establecimientos orgánicos o en transición agroecológica, aportaría un mejor servicio de polinización de cucurbitáceas a lo largo de la temporada comparado con una comunidad de pocas especies eficientes en el depósito de polen.

Abstract

Pollination by animals represents a critical process in the functioning of natural ecosystems since 90% of angiosperm species depend on pollination by animals to reproduce sexually, including many crops important to human nutrition. Bees (Hymenoptera: Apoidea) represent the most important group of insects involved in the pollination of numerous plant species, both in natural ecosystems and managed crops. Among the crops of world importance, there is the Cucurbitaceae family that presents numerous cultivated species, some of which belong to the genus *Cucurbita*. This genus includes species whose individuals have unisexual male and female flowers on the same plant and which depend on the presence of biotic vectors for pollination, including bees. One of the most widely cultivated species is *C. maxima* Duchesne, domesticated exclusively in South America, and which is widely cultivated in the Horticultural Belt of La Plata (CHP).

The aim of this study was to evaluate the effect of bee diversity (Hymenoptera: Apoidea) on pollination and fruit production of Cucurbit crops in horticultural agroecosystems with different pest management (organic, conventional and agroecological transition) of Gran La Plata (Buenos Aires, Argentina). The thesis had the following specific objectives: 1) to know and compare the richness, abundance and diversity of species of bees present in field margins of crops in the Horticultural Belt of La Plata (CHP) under different pest management. 2) To identify the main sources of food used by bees in the field margins of crops in the study area. 3) To determine and compare the diversity and composition of the apifauna present in cucurbit crops under different pest managements carried out in the horticultural establishments. 4) to evaluate the importance of cucurbit pollination of the main bee species that visit flowers of these crops through their efficiency (number of pollen grains deposited on the floral stigmas each visit) and effectiveness (percentage of fruit set). 5) To determine the most important bee species in the pollination of cucurbits present in the CHP through their frequency of visits and their efficiency.

The first two objectives were carried out in eight horticultural establishments located in five locations within the CHP for two consecutive seasons. A total of 79 bee species belonging to 33 genera grouped in the families Andrenidae, Apidae, Colletidae, Halictidae and Megachilidae were recorded, 53,16% of the species were considered as "common" in the study area. The richness of bees observed varied according to the

periods of activity of each species, with the highest values recorded during the middle and late summer. The species recorded showed different degrees of sociability (solitary, social and cleptoparasites), feeding habits (oligolectic and polylectic) and nesting substrates (above and below ground). The diversity of bees present at the field margin of the crop did not vary significantly between the different agricultural managements, however a trend of higher values calculated for fields with organic management and agroecological transition compared to conventional ones. The phenology of each bee family exhibited a unimodal with richness peaks between spring and summer except Halictidae family with a bimodal. The main plants families used by bees were Asteraceae, Fabaceae, Brassicaceae and Solanaceae. Asteraceae family was visited by more than 80% of the bee species. At least 90 plant species used as a food resource by bees were recorded, of which those that recorded the most species foraging were *Carduus acanthoides* L., *Matricaria chamomilla* L. y *Picris echioides* L.. On the other hand, the most visited plants were *Carduus acanthoides*, *Brassica rapa* L., *Trifolium repens* L. y *Matricaria chamomilla*.

The third objective was studied during the 2016-2017 and 2017-2018 seasons based on the bees that visited the *Cucurbita maxima* crops present in six of the fields (two from each category of pest management). A total of 16 species of bees grouped in the families Apidae and Halictidae were registered (both presented eight species). The five most abundant species sampled were *Apis mellifera*, *Peponapis fervens*, *Bombus pauloensis*, *Thytater analis* and *Augochlora amphitrite*, the first four belonging to the family Apidae and the last one to the family Halictidae. Only the species *A. mellifera* was classified as "constant" on the crop throughout the season, while *B. pauloensis* and *P. fervens* behaved as "accessory" and the rest as "accidental". The fields with the highest values for both diversity and equity were those with transitional management, followed by the organic ones and the conventional ones with the lowest values. Regarding the activity of the set of bees on the crop, the native bees remained more active during the first hours of the morning, while the most abundant species, *A. mellifera*, did not show a marked trend increasing its presence in three separate schedules.

The role played by each bee species in the pollination of cucurbits was evaluated based of their efficiency and effectiveness taking into account their size and flight period. For this, the technique of pollinator exclusion by means of a voile bag was used. Pollination trials were carried out during three consecutive seasons (2016-2019) on *C. maxima* in seven production fields. The efficiency study showed that out of the

total 16 registered bee species (families Apidae and Halictidae), 15 of them were able to deposit pollen on the floral stigma. The larger species deposited significantly more pollen grains on the floral stigma in a single visit than the rest. The maximum value of deposited pollen grains was 2.356 recorded for *B. pauloensis* and only four species deposited more than 1,000 pollen grains with a single visit (*B. pauloensis*, *Xylocopa augusti*, *P. fervens* and *A. mellifera*). The average value of deposited pollen grains for all bees was 121.41 ± 274.89 , while the three species with the highest average values of pollen deposit were *X. augusti*, *B. pauloensis* y *P. fervens*. The study of the pollination effectiveness in *C. maxima* carried out by different bee species resulted in 47% of the female flowers being pollinated after one visit; however, only 10% of them produced fruits that reached normal sizes. Finally, the importance of each species of bee was calculated as the product of its average efficiency with its relative abundance. The results indicate that only six of the species were considered important for the pollination of *C. maxima*, with three of them being the most important (*A. mellifera*, *P. fervens* and *B. pauloensis*). The rest of the native species had lower values of importance, the most important being *Xylocopa augusti*, *Augochlora amphitrite* and *Thygater analis*. Temporal variations in the order of importance of the species were observed, with *A. mellifera* as the most important species during the beginning of flowering (late spring and early summer), then the native species *P. fervens* during the middle summer and towards the end of the season, the most important species were the honey bee together with the bumblebee *B. pauloensis*.

In conclusion, from the 19 species of bees that were observed in crops of *C. maxima* in the CHP, the species belonging to the Apidae family (*A. mellifera*, *P. fervens*, *B. pauloensis*, *X. augusti* and *T. analis*) together with the halictid *Augochlora amphitrite* were the most important species in the pollination of the crop (relation between efficiency and frequency of visits). The bee *A. mellifera* was the most important species due to its high frequency of visits to the crop. On the other hand, the contribution in pollination of native bee species is of great interest in the absence of *A. mellifera* or in the presence of decreases in its abundance. It is suggested that a community rich in bee species diversity, such as those observed in organic farms or in agro-ecological transition, would provide a better service for the pollination of cucurbits throughout the season compared to a community with few efficient species in the pollen deposit.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

Introducción

Polinizadores en ecosistemas naturales y cultivos de interés agrícola.

La polinización llevada a cabo por animales representa un proceso crítico en el funcionamiento de los ecosistemas naturales ya que el 90% de las especies de angiospermas dependen de la polinización por animales para reproducirse sexualmente, entre las que se incluyen numerosos cultivos de importancia para la alimentación humana (Richards, 1986; Buchmann & Nabhan, 1996; Klein *et al.*, 2007, 2020; Ollerton *et al.*, 2011; Potts *et al.*, 2016). Es por ello que la polinización mediada por factores bióticos es considerada como un servicio ecosistémico de sumo interés para el mantenimiento de diversos ecosistemas y de las poblaciones humanas (WHO, 2005; Klein *et al.*, 2007; Garibaldi *et al.*, 2013). Por su parte los servicios ecosistémicos fueron definidos como aquellos beneficios brindados por la naturaleza hacia las comunidades humanas y que impactan en la economía de las mismas, entre las que se incluyen la ya mencionada polinización mediada por animales (Daily, 1997; Palmer *et al.*, 2014). Es por ello que la planificación de estrategias ecológicas que permitan incrementar y sostener la biodiversidad en los agroecosistemas reviste de gran interés para alcanzar producciones sustentables en el tiempo (Palmer *et al.*, 2014; Potts *et al.*, 2016; Cullen *et al.*, 2019; Klein *et al.*, 2020).

Asociado a los efectos negativos que acarrearán la pérdida de la diversidad de insectos para los ecosistemas naturales, se ha observado que la disminución en la diversidad de polinizadores afecta negativamente la productividad de muchos cultivos de importancia mundial, tanto a escala local como regional (de paisaje) (Steffan-Dewenter & Tscharntke, 1999; Klein *et al.*, 2007; Hoehn *et al.*, 2008; Garibaldi *et al.*, 2013; Dainese *et al.*, 2019). Esto se debe principalmente a una disminución en los servicios ecosistémicos brindados por los mismos debido a distintos grados de disturbio producido por el hombre sobre numerosos ambientes que afectan a la biodiversidad presente en el área (Winfrey *et al.*, 2009; Potts *et al.*, 2010; Dainese *et al.*, 2019). En los últimos años ha aumentado la preocupación por el mantenimiento de los servicios prestados por los polinizadores, tanto silvestres como manejados, y por la conservación de poblaciones viables de estos agentes en áreas naturales y agrícolas (Steffan-Dewenter *et al.*, 2005). Entre las causas que contribuyen a la disminución observada se citan la constante modificación en el entorno natural por la expansión de la frontera agrícola, el uso indebido de plaguicidas y fertilizantes sintéticos, introducción de

especies exóticas y procesos de urbanización, lo que en conjunto ha causado la pérdida de la biodiversidad y la disminución de poblaciones de estos polinizadores en áreas naturales, observándose cambios tanto en las redes plantas-polinizadores (Kearns *et al.*, 1998; Altieri, 1999; Steffan-Dewenter *et al.*, 2002; Kremen *et al.*, 2004; Tylianakis *et al.*, 2008), como así también la incidencia de diferentes patógenos y parásitos que afectan a diversos polinizadores (e.g. Plischuk *et al.*, 2009; Maggi *et al.*, 2011; Lucia *et al.*, 2013, 2014; Reynaldi *et al.*, 2013).

El desarrollo de la agricultura moderna se sustenta en la maximización de las ganancias productivas a través de los rendimientos de los cultivos en detrimento de los costos de producción (Richards, 2001). Sin embargo, para obtener tales beneficios, los sistemas agrícolas se han vuelto altamente dependientes de insumos que maximicen las producciones junto a un aumento del área cultivada, en especial con aquellos cultivos cuyas cosechas dependen de polinizadores, provocando una disminución en la diversidad en el ambiente lo que acarrea costos significantes tanto ecológicos como económicos (Altieri, 1999; Aizen & Harder, 2009; Aizen *et al.*, 2009a, b; Chacoff *et al.*, 2010; Potts *et al.*, 2010). El modelo de manejo productivo de cultivos llamado agricultura convencional, afecta negativamente a los artrópodos, ya sea directamente a través de la toxicidad de productos químicos sintéticos y/o indirectamente por la disminución tanto de alimentos como la disponibilidad y calidad del hábitat. Entre otros factores puede mencionarse el uso herbicidas sintéticos para la remoción de plantas adventicias o “malezas”, muchas de las cuales interactúan y son importante para numerosas especies de animales provocando una disminución de la biodiversidad en el ambiente y en última instancia, una disminución de la presencia de insectos en los cultivos (Biesmeijer *et al.*, 2006; Potts *et al.*, 2010). Los efectos producidos por el uso de agroquímicos podrían no estar restringidos solamente a las tierras agrícolas, sino que pueden derivar a hábitats seminaturales que son utilizados por los polinizadores para nidificar y forrajear (Potts *et al.*, 2010). Por el contrario, un manejo productivo de tipo orgánico promueve el mantenimiento de las poblaciones de insectos benéficos en los establecimientos alentando el cuidado de los hábitats naturales a través de prácticas culturales (rotaciones de cultivos específicos y mayores áreas de vegetación seminatural), el uso de depredadores naturales y parasitoides para el control de malezas e insectos dañinos, y prohibiendo la utilización de productos químicos sintéticos con función herbicida o pesticida (Purtauf *et al.*, 2005; Gibson *et al.*, 2007).

Numerosos estudios han demostrado que en hábitats disturbados tales como sistemas agrícolas y pastizales seminaturales fragmentados, ha existido una

disminución de la abundancia y la riqueza tanto de plantas como de polinizadores (Kearns & Inouye, 1997; Kearns *et al.*, 1998; Steffan-Dewenter & Tscharntke, 1999; Winfree *et al.*, 2009). También se han realizados estudios experimentales en redes simplificadas de plantas-polinizadores donde se ha obtenido evidencia de que la pérdida de diversidad de polinizadores de una comunidad de plantas puede afectar la persistencia de las mismas (Fontaine *et al.*, 2006). Por otro lado, es interesante destacar que la presencia de hábitats seminaturales junto a una red compleja de bordes entre los diferentes cultivos, puede significar un aumento en la presencia de polinizadores en el ambiente, respondiendo los mismos de una manera no lineal en sus abundancias (Martin *et al.*, 2019).

Es importante remarcar que entre los factores asociados a la productividad de diversos cultivos se encuentra la dependencia de los mismos a numerosos polinizadores, donde la distancia existente entre los cultivos y áreas naturales, seminaturales o remanentes de las mismas que albergan a los polinizadores, juegan un rol muy destacado. En relación a ello, se ha observado que a medida que aumenta la distancia entre cultivos y áreas naturales o seminaturales, disminuyen tanto la frecuencia de visitas de los polinizadores (Chacoff *et al.*, 2006; Garibaldi *et al.*, 2011) como la producción de frutos en los mismos (Klein *et al.*, 2003; Kremen *et al.*, 2004). Esto se puede observar en producciones bajo agricultura intensiva donde se cultivan grandes extensiones, provocando que los remanentes de áreas naturales o seminaturales se fragmenten y se separen entre sí, aumentando la distancia entre tales áreas y el interior de los cultivos, afectando en última instancia a la estabilidad de los polinizadores en tales áreas y de manera diferencial a la productividad de diversos cultivos (Kremen *et al.*, 2002; Steffan-Dewenter *et al.*, 2005). Esto va en concordancia con la respuesta de las distintas especies de abejas a la modificación del ambiente por acción antrópica a escala global, dando como resultado la probable reducción de las abejas, tanto en abundancia como en riqueza de especies en tales sitios modificados (Winfree *et al.*, 2009). Sin embargo, las diferentes especies de abejas no siempre responden de la misma manera en diferentes ambientes, pudiendo observarse en algunos casos particulares especies que se ven beneficiadas por tales disturbios (Winfree *et al.*, 2007). Por ejemplo, el efecto provocado por la intensificación agrícola sobre la nidificación de diferentes abejas no siempre es negativo ya que algunas especies que nidifican en el suelo podrían beneficiarse de esta situación nidificando en áreas disturbadas que les propiciarían un mejor sustrato para la construcción de los mismos (Westphal *et al.*, 2003), o incluso un número reducido de especies de abejas

parecería preferir nidificar en tales ambientes antes que en ambientes boscosos (Winfrey *et al.*, 2007). Es por ello que tales disturbios en el ambiente podrían favorecer solo a aquellas especies que se puedan adaptar al cambio y disminuir de esta manera la diversidad de abejas presentes en tales sitios.

Importancia de la presencia de bordes de cultivo como ambientes seminaturales para la diversidad de plantas y el mantenimiento de polinizadores.

La conservación de hábitats naturales y seminaturales en paisajes agrícolas puede jugar un papel clave en el incremento y protección de las poblaciones de polinizadores y de esta manera mejorar los servicios de polinización en los cultivos de interés (Chacoff *et al.*, 2006; Klein *et al.*, 2007). Esto se debe principalmente, a que la transformación de sitios naturales en sistemas agrícolas produce un efecto de simplificación del paisaje y pérdida de la biodiversidad al modificar la estructura de la comunidad de plantas, lo que provoca una disminución de los recursos disponibles en el ambiente (Sáez *et al.*, 2014). Esto se traduce en una disminución del recurso alimenticio disponible junto a la pérdida de materiales para la nidificación y de sitios de resguardo. Por ejemplo algunos recursos que son utilizados por las diferentes especies de abejas para alimentarse son la savia, aceites florales, néctar y polen de diversas plantas; además pueden hacer uso de diversos materiales para la construcción de sus nidos (materiales vegetales secos y/o en pie, barrancos de tierra) y finalmente acondicionarlos utilizando resinas, ceras y hojas o pétalos de flores según la especie (Roubik, 1989; Michener, 2007). También se ha observado que los polinizadores se mueven entre los bordes y los cultivos adyacentes (Torretta & Poggio, 2013), con lo que es de vital importancia el rol que juega la diversidad de plantas presente en bordes de cultivos para la presencia y el mantenimiento de las comunidades de visitantes florales presentes en el área (Sáez *et al.*, 2012, 2014; Torretta & Poggio, 2013).

Importancia de las abejas como principales polinizadores en diversos ecosistemas

Las abejas (Hymenoptera, Apoidea) son el grupo de insectos más importantes en la polinización y, sumado al gran número de especies que existen, se convierten en un grupo esencial para muchas plantas de interés agrícola (Michener, 2007). Cuando están presentes, su contribución se ve reflejada en el aumento directo e indirecto de la producción de frutos y semillas, como ocurre en leguminosas, frutales, e incluso en

plantas de interés ornamental (Buchmann & Nabhan, 1996; Freitas & Paxton, 1998; Heard, 1999; Richards, 2001; Kremen *et al.*, 2002; Slaa *et al.*, 2006; Klein *et al.*, 2007; Bispo dos Santos *et al.*, 2009; Pitts-Singer & Cane, 2011).

La especie *Apis mellifera* L. fue tradicionalmente considerada como la principal especie polinizadora de numerosos cultivos, sin embargo se ha demostrado que su eficiencia en la producción de frutos y semillas muchas veces es inferior a la de especies nativas en numerosas plantas (Baranzelli *et al.*, 2020; Klein *et al.*, 2007; Garibaldi *et al.*, 2013), a pesar de que su contribución puede tornarse importante debido principalmente al gran número de individuos que presenta frente a otras especies de abejas (Vázquez *et al.*, 2005). Más aún su rol como polinizador no reemplaza la actividad realizada por los polinizadores silvestres, sino que la complementa (Garibaldi *et al.*, 2013). Es por ello que cuando las abejas silvestres no visitan los cultivos, los productores suplen esta falta con colmenas de *A. mellifera* L. para asegurarse la producción de los cultivos (Klein *et al.*, 2007) a pesar de que la producción de numerosos cultivos se ve muchas veces limitada debido a que la abeja melífera no suele ser la más adecuada para encargarse de la polinización de numerosos cultivos, evidenciándose en los bajos rendimientos obtenidos (Kremen *et al.*, 2002, 2004). Es por ello que las abejas silvestres nativas cumplen una función polinizadora sumamente importante al visitar y polinizar flores que son inaccesibles para las especies manejadas del género *Apis* (e.g Freitas & Paxton, 1998; Heard, 1999; Richards, 2001; Slaa *et al.*, 2006; Kremen *et al.*, 2002; Pitts-Singer & Cane 2011; Bispo dos Santos *et al.*, 2009). Algunos ejemplos pueden encontrarse en aquellas especies de abejas silvestres que obtienen grandes cantidades de polen de anteras del tipo poricida como las presentes en Solanáceas, entre otras numerosas familias vegetales, al utilizar la musculatura torácica para producir vibraciones obteniendo así de grandes cantidades de polen (“buzz pollination”) o directamente introduciendo su probóscide dentro de las flores (“milking”) (Buchmann, 1983; Nunes-Silva *et al.*, 2010; Álvarez *et al.*, 2015).

A pesar de su gran importancia para la producción de numerosos cultivos, solo unas pocas especies de abejas silvestres han sido domesticadas y son actualmente utilizadas como polinizadores comerciales. Entre ellas pueden citarse especies de abejorros del género *Bombus*, y solo tres especies de abejas solitarias: *Nomia melanderi* Cockerell, *Megachile rotundata* Fabricius y *Osmia cornifrons* Radoszkowski (Thorp, 2003; Torchio, 2003; Velthuis & van Doorn, 2006; Pitts-Singer & Cane, 2011). Otro género de abejas silvestres utilizada para diversos cultivos en diferentes países del mundo es el

género *Xylocopa* que comprende a las llamadas “abejas carpinteras”. Algunas especies de este género son polinizadoras efectivas en diversos cultivos tales como maracuyá, girasol, calabazas, tomates y berenjenas (Gerling *et al.*, 1989; Sihag, 1993; Mardan, 1995; Hogendoorn *et al.*, 2000; Aguiar-Menezes *et al.*, 2002; Sadeh *et al.*, 2007).

Nivel de dependencia de los cultivos a los insectos polinizadores

Globalmente más de un tercio de la producción de cultivos (toneladas métricas) proviene de la polinización mediada por animales, siendo variable el grado de dependencia de tales cultivos a los polinizadores (Klein *et al.*, 2007). El grado de dependencia surge de tener en cuenta la reducción en la producción y calidad de los cultivos en ausencia de los polinizadores. Es por ello diversos cultivos fueron clasificados según un gradiente de dependencia en *esenciales* cuando la producción es reducida en el 90% o más ante la ausencia de polinizadores, grado *alto* de dependencia (reducción entre el 40% y el 90%), grado *modesto* (10%-40%), grado *pequeño* (hasta el 10% de reducción) y *sin reducción* de la producción (Klein *et al.*, 2007). Esto se traduce en una reducción de su producción en ausencia de polinizadores disminuyendo bruscamente en aquellos cultivos que dependen casi exclusivamente de los mismos para su polinización como sucede en numerosas Cucurbitáceas (Klein *et al.*, 2007; Passarelli, 2002). Estos resultados contrastan con la hipótesis de que la producción de alimentos primarios y básicos es independiente de la polinización de los insectos (Richards, 2001; Ghazoul, 2005). Por otro lado, se ha demostrado la importancia que contienen numerosos alimentos producidos a partir cultivos dependientes de polinizadores en el aporte de nutrientes necesarios para la dieta humana tales como lípidos y micronutrientes tales como vitaminas hidrosolubles y liposolubles, carotenoides, licopeno y minerales (Eilers *et al.*, 2011; Chaplin-Kramer *et al.*, 2014). Investigaciones realizadas en Argentina arrojaron que la ausencia de alimentos dependientes de polinizadores podría empobrecer la dieta de la población tanto en el contenido de proteínas como de ácidos grasos (Chacoff *et al.*, 2010).

Durante los años 1961 y 2006 el área cultivada mundialmente sufrió un gran aumento (cerca al 25%), siendo muy variable los valores entre los países desarrollados y en desarrollo (Aizen *et al.*, 2009a). Esto concuerda con lo observado en los últimos años donde existe una tendencia global al aumento en la superficie de implantación de numerosos cultivos que dependen de la actividad de los polinizadores para su producción con el fin de compensar el déficit producido por la ausencia de tales agentes en los ambientes (Aizen *et al.*, 2009a). Dicha tendencia puede observarse

por ejemplo con la una rápida expansión de monocultivos dependientes de polinizadores y con una simplificación en la diversidad de cultivos de los sistemas productivos de numerosos países con resultados negativos para la riqueza y abundancia de polinizadores en tales ambientes agrícolas (Aizen *et al.*, 2009a; Aizen *et al.*, 2019). Asociado a esto último, en Argentina se ha observado una tendencia de aumento constante del 4 al 12% en la dependencia de los cultivos a los polinizadores, tomando como referencia el periodo 1961-2007 (Chacoff *et al.*, 2010).

Cucurbitáceas como un cultivo importante para el hombre. Introducción a cultivos de cucurbitáceas.

Dentro de los cultivos de importancia mundial para la alimentación humana, se encuentran aquellos pertenecientes a especies de la familia Cucurbitaceae. Esta familia es muy diversa y está compuesta por 15 tribus con 95 géneros y aproximadamente 980 especies distribuidas mundialmente en las regiones tropicales y subtropicales, con mayor diversidad en el sudeste de Asia, África occidental, Madagascar, y México (Schaefer & Renner, 2011a, b). Entre los cultivos de interés mundial se encuentra el género *Cucumis* (65 spp.) presente en semidesiertos y sabanas, matorrales secos de los márgenes de los bosques en África, Asia y Australia, mientras que el género *Citrullus* (4 spp.), se encuentra en semidesiertos y matorrales xerófilos, en las dunas de arena y de tierra perturbada de la región del Mediterráneo oriental, norte y tropical de África y Asia occidental. Por otro lado, el género *Cucurbita* (15 spp.), crece en una gran diversidad de terrenos (barrancos húmedos, llanuras aluviales, bosque tropical caducifolio, praderas, desiertos, laderas rocosas) de América tropical y subtropical (Whitaker, 1980; Schaefer & Renner, 2011b). Si bien ocurrieron al menos seis eventos de domesticación de cultivos del género *Cucurbita* por parte de pobladores americanos, tanto la especie *C. maxima* Duchesne como su posible fuente de origen *C. maxima* Duchesne subsp. *andreana* (Naud.) A.I. Filov fueron domesticadas exclusivamente en Sudamérica a diferencia del resto (Sanjur *et al.*, 2002).

Polinización de cultivos de cucurbitáceas. Características reproductivas del género *Cucurbita*.

En relación a los taxones anteriormente mencionados, el género *Cucurbita* cuenta con especies monoicas, en las cuales las flores masculinas y femeninas están presentes en una misma planta (diclino monoicas), y dado que el polen es grande, esférico y con

microespinas (diámetro que oscila entre 180 y 200 μm en la especie *C. pepo*), dependen de vectores bióticos para su polinización (Nepi & Pacini, 1993). Además no hay producción de frutos por apomixis es decir, no se producen semillas sin fertilización (Hojsgaard *et al.* 2014), por lo que las especies del género *Cucurbita* dependen totalmente de polinizadores para la formación de sus semillas y frutos (Ashworth *et al.*, 2009; Chacoff *et al.*, 2010). La especie ampliamente cultivada y originaria de América del Sur, *C. maxima*, presenta flores grandes, vistosas y con corolas gamopétalas, infundibuliformes, tanto femeninas (pistiladas con estigma trífido y ovario ínfero) como masculinas (estaminadas con estambres connatos), presentando néctar y polen como recompensas florales y además perfume como atrayente secundario para los polinizadores (Passarelli, 2002).

Los principales insectos polinizadores de las especies del género *Cucurbita* son las abejas (Hurd *et al.* 1971, 1974), entre las que se encuentran especies del género *Peponapis* Robertson (Apidae: Eucerini) cuyos individuos (larvas y adultos) dependen exclusivamente del polen y néctar de sus flores (Hurd & Linsley, 1964), exhibiendo los adultos adaptaciones morfológicas y etológicas para el forrajeo (Hurd *et al.* 1971, 1974). Estas características les permiten ser mejores agentes polinizadores en cultivos de Cucurbitaceae que la abeja melífera (Tepedino, 1981; Shuler *et al.* 2005; Delgado-Carrillo *et al.* 2018). Sin embargo, las abejas del género *Bombus* (Apidae, Bombini) (Nicodemo *et al.*, 2009), e inclusive especies de la tribu Meliponini (Dos Santos *et al.*, 2008 Delgado-Carrillo *et al.* 2018) también son polinizadores efectivos de *Cucurbita*, mientras que especies del género *Ceratina* y especies de la familia Halictidae, podrían ser potenciales polinizadores de al menos el cultivo de *C. moschata* (Delgado-Carrillo *et al.* 2018).

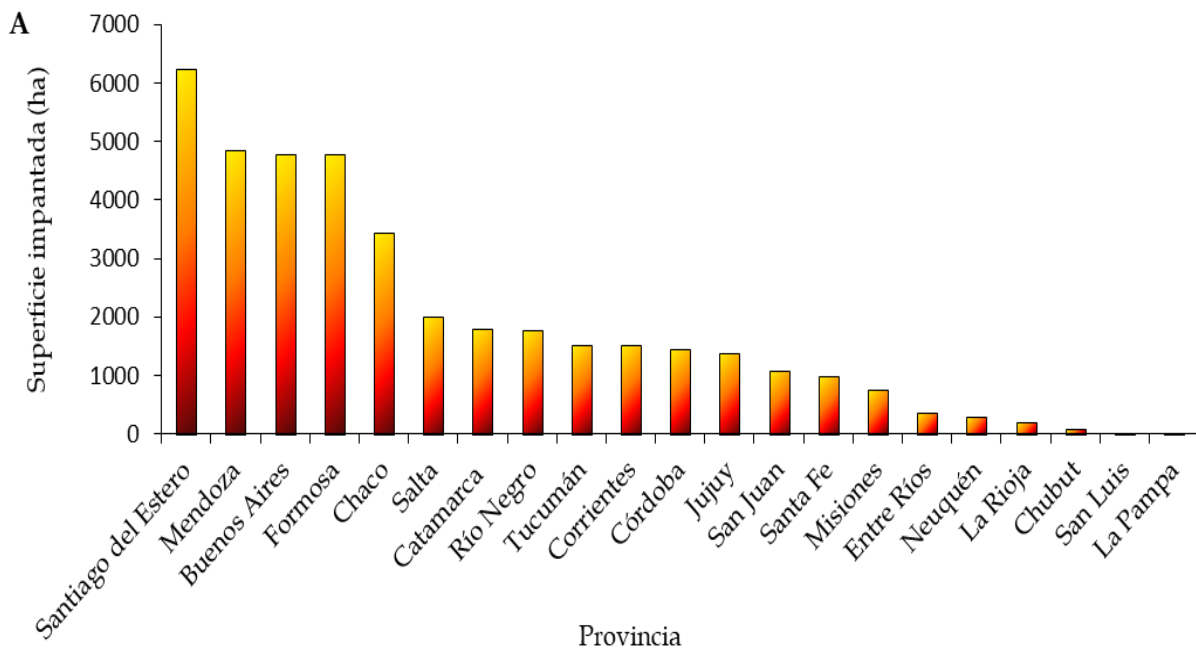
Cultivos de cucurbitáceas importantes en nuestro país. Principales especies cultivadas, zonas de cultivo e introducción al Cinturón Hortícola Platense (CHP).

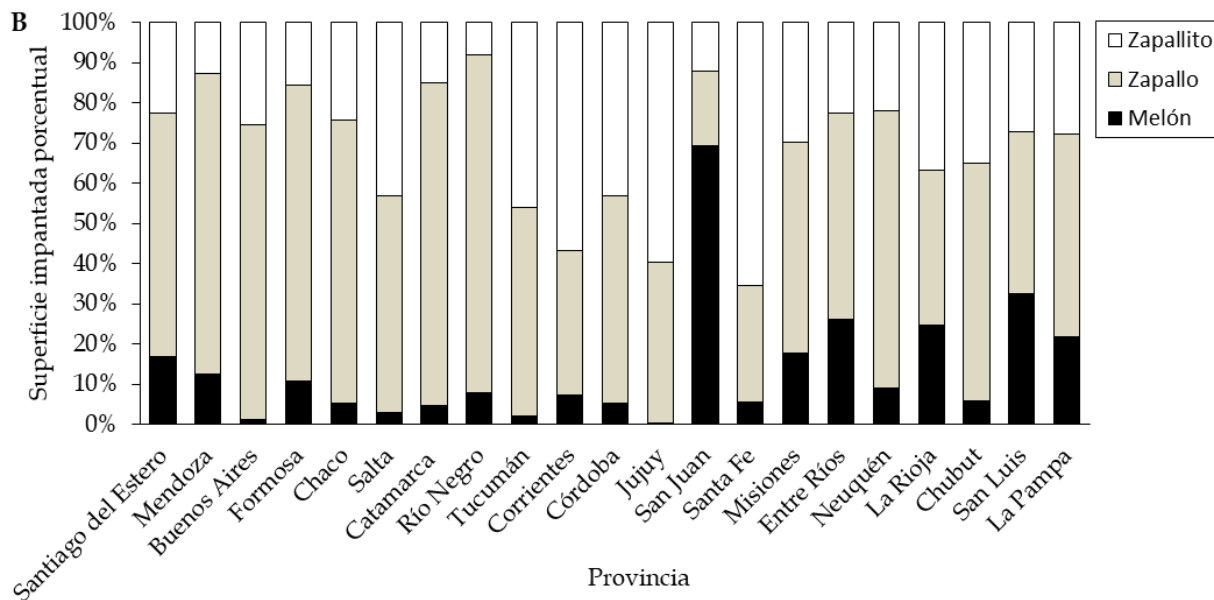
En nuestro país las cucurbitáceas se ubican entre los 10 cultivos dependientes de polinizadores de mayor producción por hectárea, alcanzando sólo los cultivos de *Cucurbita* un rendimiento de 14,56 toneladas métricas/ha entre el 2005 y el 2007, y cuya producción disminuye más del 90% en ausencia de polinizadores (Chacoff *et al.*, 2010). Entre estos cultivos está el zapallo anco (*Cucurbita moschata*), zapallo de tronco (*C. maxima*), zucchini (*C. pepo*), e híbridos y variedades de los mismos, además de melón (*Cucumis melo*), pepino (*C. sativus*) y sandía (*Citrullus lanatus*). Las cucurbitáceas se

cultivan casi en todo el país (excepto en Santa Cruz y Tierra del Fuego) con un área de producción de 39.357 ha a campo y 274.866 m² bajo cubierta (Figura 1.1), donde la provincia de Buenos Aires produjo el 12,2% de la producción a campo y el 27,8% de la producción bajo cubierta del país según los datos definitivos obtenidos del Censo Nacional Agropecuario 2002 (CNA, 2002), ya que el último censo nacional realizado hasta la fecha en el 2018 presenta aún resultados preliminares y donde no se encuentran detallados cada cultivo en particular.

Es de destacar que entre los principales cultivos de la provincia de Bs. As. se encuentran los zapallos anco/anquito y de tronco, siendo este último la principal producción para el partido de La Plata (CHFBA, 2005; Figura 1.1B). El presente estudio fue llevado a cabo sobre cultivos de *Cucurbita maxima*, debido a su mayor relevancia en la zona y a la mayor disponibilidad de cultivos en los diferentes establecimientos.

Figura 1.1. A: Cantidad de hectáreas (ha) implantadas con cultivos de cucurbitáceas por provincia en Argentina. **B:** Distribución de la superficie implantada (ha) de las principales especies de cucurbitáceas en cada provincia, Zapallito (*Cucurbita maxima*), Zapallo (*Cucurbita sp.*), Melón (*Cucumis melo*). Los valores fueron transformados a porcentajes (Censo Nacional Agropecuario 2002; Fuente: INDEC).





Problemáticas acerca de la temática de estudio.

A pesar de la mayor atención que están recibiendo las abejas nativas como polinizadoras de cucurbitáceas en América (Canto-Aguilar & Parra-Tabla, 2000; Meléndez-Ramírez *et al.* 2002; Zambrano-G. *et al.*, 2013; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018) resultan escasos los trabajos que abordan la diversidad de abejas que visitan y polinizan efectivamente estos cultivos en los distintos ambientes en donde se siembran, y si la vegetación espontánea asociada a ellos permite conservar poblaciones viables de estos polinizadores (Chautá-Mellizo *et al.*, 2012; Zambrano-G. *et al.*, 2013). En un estudio realizado en México donde se evaluó la variabilidad temporal de polinizadores de *C. moschata* se encontró que los servicios de polinización estuvieron determinados por la diversidad de polinizadores y por el género de la especie de abeja que visitó las flores, es decir que la principal diferencia estuvo en las frecuencias de visitas entre las especies (Delgado-Carrillo *et al.* 2018). Si bien en Argentina se han realizado investigaciones sobre la polinización de Cucurbitáceas (Bedascarrasbure *et al.*, 1986; Ashworth & Galetto, 2001; Passarelli, 2002), no se ha evaluado aún el efecto producido por las abejas nativas presentes en los cultivos, en términos de eficiencia en la polinización y producción de frutos. Es para destacar además que los estudios sobre polinización en *Cucurbita maxima* en general son escasos y se han limitado principalmente al estudio de la especie introducida *A. mellifera* (Passarelli, 2002; Walter & Taylor, 2006; Nicodemo *et al.*, 2009).

En virtud de lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de conocer la diversidad, abundancia y eficiencia de la apifauna presente en establecimientos de producción intensiva y su rol en los procesos de polinización de cultivos de cucurbitáceas. El conocimiento obtenido en este estudio podrá ser transferido a futuros trabajos de utilización y manejo de abejas nativas para la polinización asistida en cultivos agrícolas de interés comercial. Es por ello que la tesis propuesta tiene como objetivo:

Objetivo general

Evaluar el efecto de la diversidad de abejas (Hymenoptera: Apoidea) sobre la polinización y producción de frutos de cultivos de Cucurbitáceas en agroecosistemas hortícolas con distinto manejo agrícola (orgánico, convencional y en transición agroecológica) del Gran La Plata.

Objetivos específicos

- 1) Conocer y comparar la riqueza, abundancia y diversidad de las especies de abejas presentes en bordes de cultivo en establecimientos del Cinturón Hortícola Platense (CHP) con diferentes manejos agrícolas (orgánicos, convencionales y en transición agroecológica).
- 2) Identificar las principales fuentes de alimento utilizadas por las abejas en bordes de cultivo del área de estudio.
- 3) Determinar y comparar la diversidad y composición de la apifauna presente en cultivos de cucurbitáceas bajo distintos manejos agrícolas llevados a cabo en los establecimientos hortícolas.
- 4) Evaluar la importancia de las principales especies de abejas en la polinización de cucurbitáceas a través de su eficiencia (número de granos de polen depositados en los estigmas florales en cada visita) y eficacia (porcentaje de fructificación).
- 5) Determinar las especies de abejas más importantes para la polinización de cucurbitáceas presentes en el CHP a través de su frecuencia de visitas y de su eficiencia.

Hipótesis general

- El tipo de manejo agrícola afecta tanto la riqueza de la vegetación espontánea asociada al borde de cultivo como al ensamble de abejas polinizadoras, modelando en estas últimas su diversidad, abundancia, frecuencia de visitas y eficiencia en la polinización de los cultivos, e influyendo finalmente sobre la productividad de las cucurbitáceas.

Predicciones

- Los establecimientos con manejo agrícola que promuevan la diversidad de polinizadores a través de prácticas culturales que eviten el uso de productos que sean de síntesis química para el tratamiento de plagas y hierbas competidoras con los cultivos (plaguicidas, herbicidas, fungicidas), tendrán una mayor riqueza y abundancia de abejas al proporcionarles a las mismas alimento, refugio y sitios de nidificación.
- Un ensamble de abejas polinizadoras más diverso implicará una mayor eficiencia en la polinización y por ende, una mayor productividad de los cultivos de cucurbitáceas.
- Las especies de abejas difieren en su eficiencia en la polinización de las especies del género *Cucurbita*. Debido a que las flores presentan numerosos óvulos y granos de polen de gran tamaño, las especies de abejas de mayor tamaño corporal serán más eficientes y eficaces por visita que las más pequeñas, independiente del tipo de manejo agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en el área productiva del Gran La Plata, ubicada en el noreste de la Provincia de Buenos Aires y que conforma el llamado Cinturón Hortícola Platense (CHP). El área de estudio está ubicada en la región perteneciente a la provincia biogeográfica Pampeana, ocupando las llanuras del este de Argentina entre los 30° y 39° latitud sur, caracterizada por una fisonomía de estepa o pseudoestepa de gramíneas, entre las cuales crecen numerosas especies herbáceas, sufrútices y arbustos. Debido a la actividad agrícola-ganadera, las comunidades

prístinas han sido alteradas y en general predominan las subserales muy ricas en especies consideradas malezas y especies adventicias (Cabrera & Willink, 1973). La temperatura media anual varía entre 22°C y 8°C y las precipitaciones anuales entre 800 a 1000mm.

El área periurbana que rodea la ciudad de La Plata es una de las zonas más importantes del país dedicadas a la producción florihortícola. Está caracterizada principalmente por pequeños y medianos productores con una superficie promedio de 7 a 10has destinadas a cultivos intensivos (Benencia, 1994; Stupino *et al.*, 2017). Entre los cultivos de mayor extensión en el área se encuentra el tomate seguido en importancia por lechuga, berenjena, pimientos y cucurbitáceas (CHFBA, 2005).

Características de los establecimientos estudiados

El trabajo de campo se llevó a cabo en ocho establecimientos hortícolas ubicados en cinco localidades dentro del CHP (Tabla 1.1). Las producciones en los establecimientos hortícolas fueron de modalidad intensiva en todos los casos, es decir, pequeñas superficies destinadas a varios cultivos, y con áreas de producción bajo cubierta y otras a campo (producción mixta; Stupino *et al.*, 2012). Los ensayos llevados a cabo sobre los cultivos fueron en su totalidad a campo, a fin de que la presencia de coberturas plásticas (tanto en la parte superior como a los laterales) no impidiera el acceso de polinizadores. Dentro de cada establecimiento productivo se estudiaron tanto las abejas que visitaron los cultivos como aquellas presentes sobre las plantas del borde de los mismos. Fue considerado como borde de cultivo a toda área seminatural que no fue utilizada con fines productivos, el cuál varió entre 2 y 5 m de ancho y donde se encuentran la vegetación denominadas “malezas” sobre cuyas flores se realizaron las observaciones (ver Marshall & Moneen, 2002 para más información sobre tipos de bordes). A nivel de paisaje, se encontró una heterogeneidad en el área que rodeaba a los establecimientos según la localidad donde se ubicaban los mismos (Figura 1.2).

Los establecimientos seleccionados fueron categorizados según el manejo agrícola sobre los cultivos. Estudios previos realizados en establecimientos hortícolas del CHP han demostrado que a pesar de diferenciarse los manejos orgánicos y convencionales en los extremos, entre ellos hay un grado de heterogeneidad de manejos que varía entre los productores de la región (Stupino *et al.*, 2012). Dichos autores clasificaron a los establecimientos en tres grandes grupos: orgánicos, convencionales intensivos y convencionales de bajos insumos (Stupino *et al.* 2012). Sin embargo, en el presente

estudio, si bien se observaron similitudes con la clasificación anterior, se observó una diferencia con respecto a los convencionales de bajo insumo, en donde los establecimientos seleccionados estaban en una etapa de transición hacia prácticas de manejo orgánicas. Debido a ello, se procedió a clasificar a los establecimientos estudiados en los siguientes tipos:

- Cultivos con manejo orgánico (de aquí en adelante “**CMO**”)
- Cultivos con manejo convencional (de aquí en adelante “**CMC**”)
- Cultivos con manejo en transición agroecológica hacia producciones orgánicas (de aquí en adelante “**CMT**”)

En Argentina la producción orgánica¹ o ecológica es definida como aquella cuyo uso de técnicas de producción de alimentos promueve el uso responsable y cuidado de los recursos naturales, favoreciendo a la diversidad biológica con el fin de proteger a las producciones de impactos negativos económicos productos de plagas y enfermedades. Es por ello que los establecimientos fueron considerados como orgánico si el manejo agrícola se adaptaba a las normas de IFOAM (International Federation Organic Agriculture Movement), siendo uno de los requisitos contar con una metodología de producción que sea sustentable en el tiempo y la no utilización de productos de síntesis química (ver Stupino *et al.*, 2012 y referencias allí). Los establecimientos que no siguieron lo antes descrito, fueron clasificados como *convencionales* o *en transición agroecológica*. Los establecimientos convencionales hicieron uso de insumos químicos sintéticos para el control de plagas y malezas de los cultivos, y además realizándose aplicaciones de control de calendario o cuando los cultivos lo requerían. Por su parte, los cultivos en transición agroecológica presentaron un control de plagas por medio de productos compatibles con la producción orgánica, sin embargo en etapas tempranas de algunos cultivos se realizaron aplicaciones químicas a modo preventivo. Es por ello que dichos establecimientos fueron considerados como transicionales ya que disminuyeron drásticamente el uso de insumos de origen químico para el control de plagas y éstos fueron reemplazados por pesticidas de origen orgánico (obtenidos a partir de diversos purines) y en proceso de convertirse paulatinamente a producciones de tipo orgánicas.

El *establecimiento orgánico 1*, “La Anunciación”, (**CMO 1**, Tabla 1.1) estuvo caracterizado por 8,78ha productivas, con presencia de una producción mixta de cultivos a campo y bajo cubierta. Los bordes del establecimiento estaban limitados por

¹ <https://www.argentina.gob.ar/senasa/programassanitarios/produccion-organica>

franjas de árboles y arbustos que ocupaban de 3 a 4 metros de espesor, al que internamente se continuaban con los bordes de cultivo propiamente dichos, y más internamente, los caminos internos y el área productiva. El establecimiento estaba inserto en una matriz de producción que consistía en establecimientos con producción mixta y un moderado grado de antropización, con similares características al antes descrito. La producción tuvo un manejo agrícola orgánico que consistió en la utilización de fertilizantes y de pesticidas de base orgánica. Las especies vegetales presentes en los bordes de cultivos fueron extraídas mecánicamente en al menos dos oportunidades, a fin de permitir el pasaje de los trabajadores a los cultivos. El tipo de riego utilizado en el establecimiento fue a través de goteo, aspersión y por medio de surcos. Con respecto a la diversidad de cultivos implantados en el establecimiento, fue alto con una gran diversidad de variedades de cultivos y ocupando superficies pequeñas de producción. Entre los cultivos observados se pueden mencionar de tomate, pimiento, lechuga, acelga, zucchini, zapallito, pepino y brócoli, entre otros cultivos y variedades de los mismos.

El *establecimiento orgánico 2* (CMO 2, Tabla 1.1) estuvo caracterizado por 8,8ha con presencia de una producción únicamente a campo y con grandes superficies destinadas al descanso de la tierra y sin ningún cultivo (barbecho). Estos últimos variaron su tamaño según la temporada y aportaron grandes cantidades de recursos florales junto a los bordes del establecimiento que estuvieron limitados por franjas de pastizales. El establecimiento estaba inserto en una matriz de producción baja, delimitada casi en su totalidad por áreas con pastizales naturales, con un bajo grado de antropización del ambiente. La producción tuvo un manejo orgánico que consistió en la utilización de fertilizantes y de pesticidas de base orgánica. El tipo de riego utilizado en los cultivos fue por surcos y por aspersión. Con respecto a la diversidad de cultivos implantados en el establecimiento, fue moderada, es decir con una menor variedad de cultivos por temporada en comparación con MO 1 pero con superficies de cultivos mayores mezcladas con áreas de descanso del suelo. Algunos de los cultivos observados fueron de lechuga, acelga, zanahoria, habas, zucchini, zapallito, zapallo anco y zapallo japonés (*Cucurbita maxima* x *C. moschata*).

El *establecimiento productivo orgánico 3*, "Colectivo orgánico", (CMO 3, Tabla 1.1) poseía alrededor de 4ha productivas, con presencia de una producción mixta con cultivos a campo y bajo cubierta, pero con una mayor superficie cultivada bajo la primera modalidad. El perímetro del establecimiento estaba limitado en un lateral por

franjas de árboles, arbustos y cañas que ocupaban de tres a cuatro metros de espesor, continuados internamente con los bordes de cultivo. Mientras que en el lado opuesto, el límite estaba establecido por árboles dispersos y daban paso a un establecimiento colindante formada por un área seminatural que fue utilizada para pastoreo en varias oportunidades. Finalmente, el tercer lateral estaba conformado por un borde de cultivo de 6 m de ancho y colindante con un invernáculo del establecimiento vecino (120 m de largo). El establecimiento estaba inserto en una matriz de producción con un moderado grado de antropización y con áreas seminaturales a menos de 10m desde los laterales principales. La producción tuvo un manejo orgánico que consistió en la utilización de fertilizantes y de pesticidas de base orgánica, que incluyó diversos purines tanto para el control de plagas como para utilizar como fertilizantes. El tipo de riego utilizado en el establecimiento fue por medio de surcos y la diversidad de cultivos presentes en el establecimiento, fue alto con una gran diversidad de variedades de cultivos y ocupando superficies pequeñas de producción, e incluso una pequeña superficie destinada a frutales (ciruelos). Entre los cultivos observados se pueden mencionar de tomate, pimiento, lechuga, acelga, zucchini, zapallito, melón (bajo cubierta) y repollo entre otros cultivos.

El *establecimiento productivo en transición agroecológica 1* (CMT 1, Tabla 1.1) se caracterizó por 5,6ha productivas con alrededor de la mitad de ellas destinadas a la producción a campo mientras que el resto se realizó bajo cubierta. Se observaron cultivos de zapallos en una sola oportunidad, zapallitos, tomates, lechugas y maíz, junto a variedades de plantas sembradas para atraer insectos benéficos tales como aromáticas (orégano, menta) y flores (caléndulas, *Calendula officinalis* L.). Las mismas estuvieron distribuidas al azar sobre los laterales de los invernadero y con un número muy reducido de individuos, entre las que se observaron “copetes” (*Tagetes* spp.), romero (*Salvia rosmarinus*) y lavanda (*Lavandula* spp.). El manejo de plagas de insectos observados durante el período de estudio fue variando con el tiempo, con un manejo agrícola convencional con tendencia hacia un manejo orientado al orgánico a través de una mayor utilización de purines en detrimento de productos sintéticos. Este fue el único establecimiento donde se constató la presencia de especies vegetales cultivadas con el objetivo de que funcionen como atrayentes de insectos benéficos durante la temporada 2017-2018.

El *establecimiento productivo en transición agroecológica 2* (CMT 2, Tabla 1.1) estuvo caracterizado por 9ha productivas donde se observó una producción mixta. Sin

embargo, la 4/5 partes de la superficie cultivada fue realizada bajo la modalidad a campo. Si bien los laterales del establecimiento estaban limitados por franjas de pastizales que eran una continuación de los bordes de cultivo presentes en la quinta, el establecimiento productivo estaba inserto en una matriz cuyas bordes estaban delimitados por dos áreas bien marcadas: una destinada a cultivos de soja y otra ocupada por pastizales naturales. Así mismo gran parte de un lateral era la continuación de otro establecimiento productivo adyacente. La producción tuvo un manejo orgánico que consistió en la utilización de fertilizantes y de pesticidas de base orgánica. El tipo de riego utilizado en los cultivos estudiados fue por surcos y por aspersión. Con respecto a la diversidad de cultivos implantados en el establecimiento, fue moderada, es decir con una menor variedad de cultivos por temporada, pero con superficies de cultivos mayor y con áreas de descanso y sin utilizar. Algunos de los cultivos observados fueron de lechuga, acelga, papa, tomate, habas, zucchini y zapallito.

El *establecimiento productivo en transición agroecológica 3* (CMT 3, Tabla 1.1) contó con 3,9ha de producción mixta, con una mayor superficie destinada a cultivos a campo. El establecimiento contaba con bordes de cultivos de con un ancho mínimo de 1m a lo largo de todo el perímetro del establecimiento, sumado a una calle central de 4m destinado al movimiento de los productores y maquinarias. Contaba con dos laterales limitados por pastizales seminaturales, cañaverales y una zona por donde circulaba un pequeño arroyo. Estas características del borde de cultivo permitieron una fuente constante de plantas con flores para las abejas a lo largo de toda la temporada de muestreo. La producción llevada a cabo en el establecimiento consistió en una producción intensiva de una gran variedad de cultivos, con una alta rotación de los mismos, ya sea bajo cubierta o a campo y con la utilización de fertilizantes y de pesticidas de base orgánica, que incluyó diversos purines tanto para el control de plagas como para su utilización como fertilizantes. Algunos de los cultivos observados fueron lechugas, tomates, pimientos, maíz y zapallitos, entre otros.

El *establecimiento productivo convencional 1* (CMC 1, Tabla 1.1) contó con una superficie productiva de 10 ha, de las cuales sólo 0,5 ha a campo fueron destinadas al cultivo de zapallito (*C. maxima*) dependiendo de la temporada y donde el riego por goteo era utilizado además para realizar fertilizaciones regulares. El establecimiento estuvo inserto en una matriz de producción con una gran presencia de cultivos bajo cubierta rodeando en su mayoría del perímetro por invernáculos. La matriz de

producción se basó principalmente en la producción de cultivos de tomate y pimientos. Esto limitó la presencia de bordes de cultivos en ciertas franjas del establecimiento y cuyas superficies estaban sesgadas principalmente a caminos internos del establecimiento y a pequeñas superficies sin uso. En estas zonas prosperaban las especies vegetales cuyas flores estaban esparcidas y eran generalmente escasas, excepto en un área que delimitaba al establecimiento en donde estaba ubicada una acequia permanente. En esta última zona se desarrolló una fuente regular de especies vegetales con flores y estuvo limitada en un lateral por una fila de árboles de paraísos y laureles (*Melia azederach* y *Laurus nobilis*) asociados a plantas de moras (*Rubus* sp.). En diversas oportunidades se realizó el control de malezas presentes en los bordes a través del desmalezado mecánico o químico. En la zona de estudio a campo, el número de especies vegetales cultivadas fue bajo, con siembras de cultivos escalonados permitiendo una producción continua en el tiempo, tanto de zapallito, berenjenas y brócoli.

El *establecimiento productivo convencional 2* (CMC 2, Tabla 1.1) estuvo caracterizado por 4,4 ha productivas, con presencia de una producción mixta con cultivos a campo y bajo cubierta, y con una superficie de arbolado de aproximada de 0,7 ha. El perímetro del establecimiento fue muy similar al encontrado en el establecimiento orgánico 3, con presencia de laterales colindantes con invernáculos de vecinos y con la presencia de áreas seminaturales a menos de 50 m de sus límites. Es por ello que se consideró que dicho establecimiento estaba inserto en una matriz de producción con un moderado grado de antropización, con presencia de áreas seminaturales a menos de 10 m desde los laterales principales. Esto se debe principalmente a que ambos sitios estaban ocupando la misma zona productiva (Tabla 1.1), sin embargo, es de destacar que los bordes de cultivos en este establecimiento estaban formados por franjas de 1 o 2 metros de ancho a partir de los límites del establecimiento y de 3 a 4 metros formados a partir de caminos internos y con presencia de cobertura vegetal. Además presentó un área de 30 m² ocupados por cañas y también contaban con un área cercana a los 10 m² donde contaban con la presencia de frutales (ciruelos) en para consumo personal. El tipo de riego utilizado en el establecimiento fue por medio de surcos y la diversidad de cultivos presentes en el establecimiento fue baja, siendo el cultivo de lechuga el más importante, tanto bajo cubierta como a campo, con aplicaciones químicas regulares para eliminar insectos perjudiciales y hongos presentes en los cultivos. Entre los cultivos observados durante

las temporadas de estudio se pueden mencionar al tomate, berenjena, zapallito y arveja.

Estudios de cultivos de cucurbitáceas

El cultivo de las especies de cucurbitáceas en el área del CHP (a campo o en invernáculo) comienza en la primavera (septiembre), e inclusive durante el mes de agosto después de la época de heladas (cultivo forzado bajo cubierta), finalizando en verano tardío (febrero/marzo, obs. pers.). Durante el trabajo de campo de este estudio, la floración de los cultivos ocurrió entre los meses de noviembre y marzo. Los cultivos de cucurbitáceas son anuales y su cosecha puede realizarse ya sea al final de la temporada (frutos maduros) o repetidas veces a lo largo del ciclo productivo de la misma (frutos inmaduros como en zapallo de tronco). El estudio se llevó a cabo en cultivos de *Cucurbita maxima*, debido a su mayor relevancia en la zona y a la mayor disponibilidad de cultivos en los diferentes establecimientos. Es de destacar que en todos los sitios muestreados con *C. maxima*, nunca superaron el cuarto de hectárea de producción, ya que fueron producidas a baja escala y según las necesidades del mercado (obs. pers.).

Tabla 1.1. Establecimientos donde se realizaron los muestreos en el Cinturón Hortícola Platense durante las temporadas 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018, 2018-2019. Referencias: Cultivo con Manejo Orgánico (CMO), Cultivo con Manejo en Transición agroecológica (CMT) y Cultivo con manejo Convencional (CMC).

Establecimientos productivos	Manejo agrícola	Localidad	Coordenadas Geográficas (latitud, longitud)
1	CMO 1	Colonia Urquiza	-34,945472, -58,133584
2	CMO 2	Colonia Urquiza	-34,966154, -58,139076
3	CMO 3	Ángel Etcheverry	-35,023110, -58,060655
4	CMT 1	Las Banderitas	-34,921191, -58,083939
5	CMT 2	El Peligro	-34,937289, -58,196488
6	CMT 3	Colonia Urquiza	-34,939163, -58,121087
7	CMC 1	Lisandro Olmos	-35,008399, -58,029852
8	CMC 2	Ángel Etcheverry	-35,024973, -58,056862

Figura 1. 2. Mapa de la provincia de Buenos Aires indicando la ubicación de los establecimientos productivos estudiados en el Cinturón Hortícola Platense e imágenes satelitales en donde se observa la heterogeneidad de paisaje que rodea a los mismos. Referencias: los números indicadores corresponden a los establecimientos productivos presentes en la Tabla 1.1.

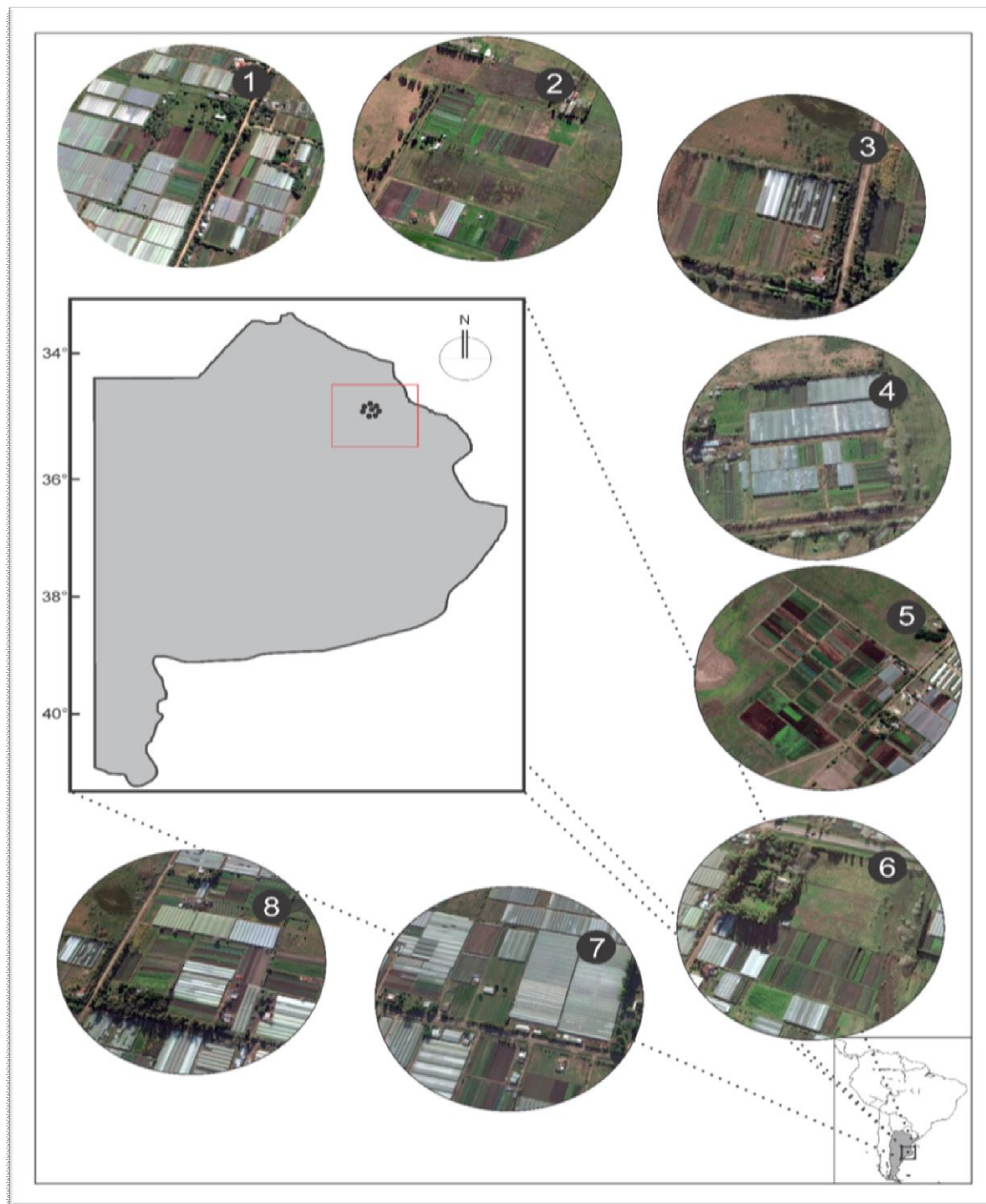


Figura 1.3. Distribución de los establecimientos estudiados en el área productiva del Cinturón Hortícola Platense. Referencias: círculos verdes: cultivos orgánicos (CMO); círculos rojos: cultivos convencionales (CMC); círculos naranjas: cultivos en transición agroecológica (CMT). Cada círculo graficado tiene un radio de 650m.

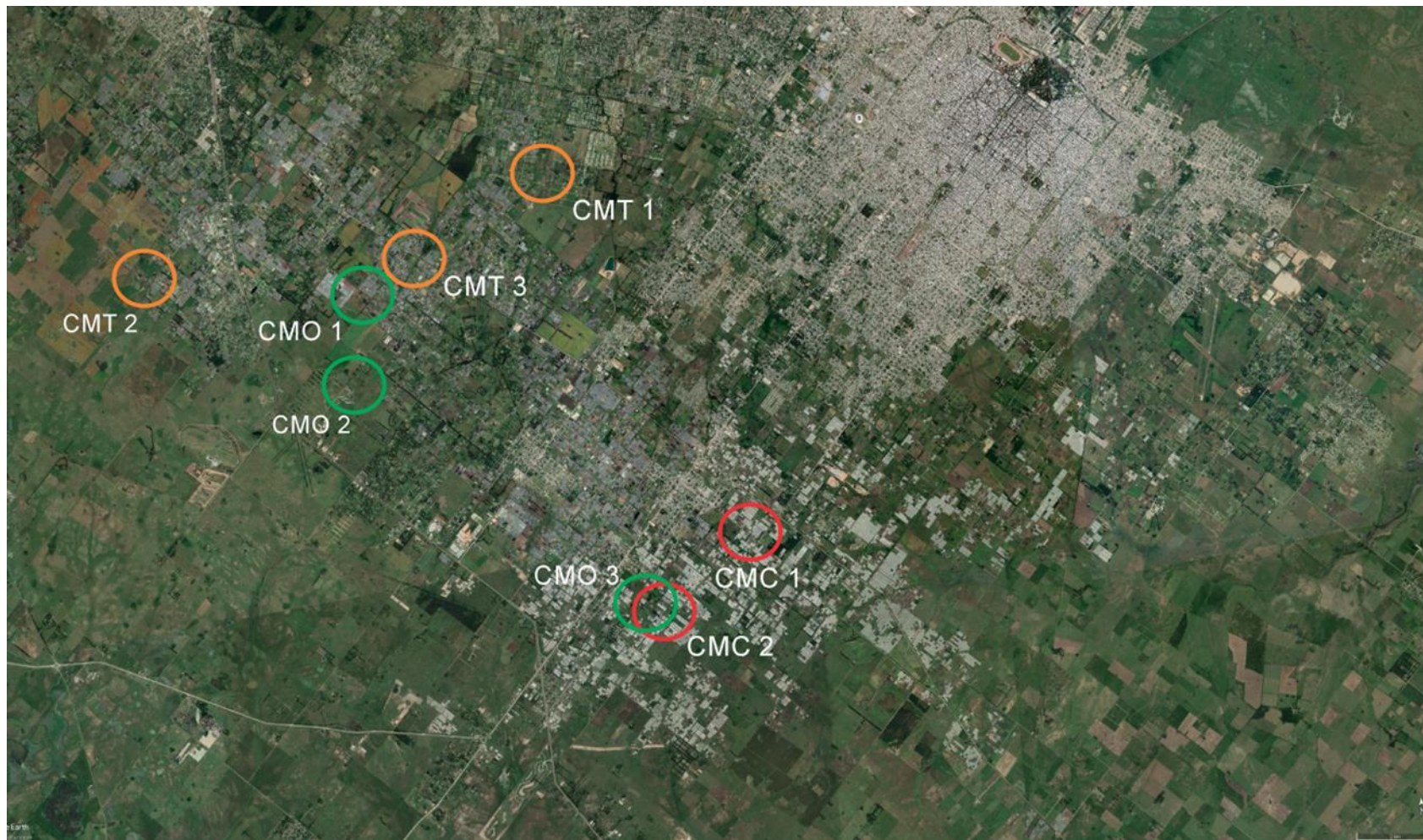
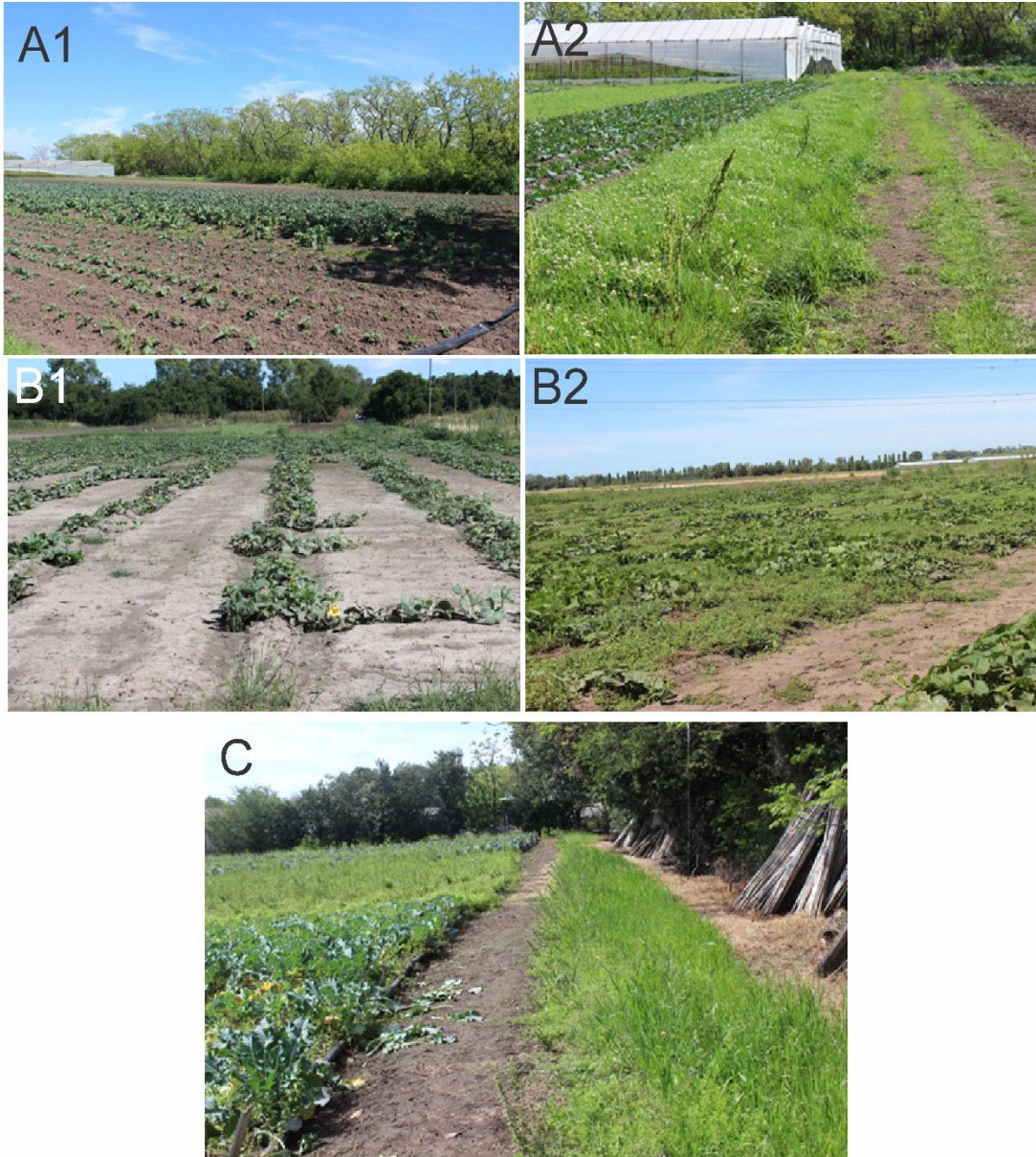


Figura 1.4. Imágenes de tres establecimientos productivos donde se llevaron a cabo los muestreos. **A. CMO 1, A1:** se observa la franja de árboles que delimitan el establecimiento productivo; **A2:** se observan caminos internos (áreas seminaturales) que presentan especies vegetales utilizadas por las abejas y se observan invernáculos. **B. CMO 2, B1:** se observa la disposición del cultivo de zapallo (*Cucurbita moschata*), y el borde de cultivo que delimitaba al mismo en el establecimiento. **B2:** paisaje general presente en el establecimiento y se aprecia un camino interno entre las parcelas. **C. CMC 1,** se observa un borde de cultivo asociado a una franja de árboles que delimitaban al establecimiento productivo y que fue utilizado como camino interno para el ingreso de maquinarias.



CAPITULO II

DIVERSIDAD DE ABEJAS PRESENTES EN BORDES DE CULTIVO DEL CINTURÓN HORTÍCOLA PLATENSE

Introducción

La polinización de especies vegetales mediada por animales es de suma importancia para la mantención de ecosistemas naturales cuyas estimaciones suponen que entre el 85% y el 87,5% de las plantas del mundo son polinizadas por animales (Klein *et al.*, 2007; Ollerton *et al.*, 2011). La constante modificación de ambientes naturales debido a las actividades antrópicas ha producido una disminución de la diversidad de polinizadores en muchos sitios alrededor del mundo, causando un impacto negativo a nivel ecológico y económico (Ecker *et al.*, 2010 y referencias allí citadas; Potts *et al.*, 2010). De hecho se ha estimado que en los próximos años podría disminuir dramáticamente el número de especies de insectos de todo el mundo (con una extinción cercana al 40%), tanto de especies que ocupan nichos ecológicos particulares (especialistas) como especies generalistas (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019). Dentro de los diversos factores que son estudiados como los responsables de la disminución tanto en la abundancia como en la riqueza de polinizadores en particular se incluyen la pérdida y fragmentación del hábitat, la reducción en la diversidad y abundancia de alimento, disminución o alteración de sitios para nidificar, incremento en la exposición a pesticidas, enfermedades, parásitos o aparición de especies exóticas invasoras que pueden competir por recursos, o una combinación de varios de ellos (Aizen & Feisinger, 1994; Kearns *et al.*, 1998 y referencias allí citadas; Plischuk *et al.*, 2009; Goulson, 2015; Cullen *et al.*, 2019). De hecho, junto a la abeja melífera (*Apis mellifera* L.) se ha documentado a nivel mundial una gran preocupación por la disminución poblacional de especies de abejas del género *Bombus* y en algunos casos extinciones regionales de estos insectos (Colla & Packer, 2008; Goulson *et al.*, 2008; Martins & Melo, 2010). El impacto de la disminución de estos polinizadores en los ambientes naturales podría afectar notablemente a la diversidad de aquellas especies vegetales que dependen obligadamente de polinizadores para reproducirse sexualmente, e incluso a especies generalistas autocompatibles, ya que la disminución de los polinizadores en el ambiente limita la transferencia de polen y reduce el éxito reproductivo de dichas plantas (Ashworth *et al.*, 2004, Aguilar *et al.*, 2006; Beismeyer *et al.*, 2006; Thomann *et al.*, 2013).

Las áreas naturales, tales como las reservas, son zonas importantes que permiten mitigar el efecto de las actividades humanas sobre los ecosistemas y sostienen una gran diversidad tanto de plantas como de polinizadores (Vázquez *et al.*, 2008; Ramello *et al.*,

2020). Al igual que las anteriores, las áreas seminaturales que rodean los cultivos productivos actúan como sitios importantes para la preservación de la biodiversidad al ofrecer tanto sustratos, como sitios de nidificación, alimentación y refugio, convirtiéndose en corredores biológicos que permiten el movimiento de los insectos (Marshall & Moonen, 2002; Holzchuh *et al.*, 2008; Torretta & Poggio, 2013; Sáez *et al.*, 2014; Pisanty & Mandelik, 2015), proponiéndose que es necesario conservar al menos el 20% de hábitats nativos en los paisajes a fin de contribuir al mantenimiento de la diversidad y los beneficios asociados a ella (Garibaldi *et al.*, 2020). En particular, no se pueden mantener poblaciones de polinizadores solamente con cultivos de floración corta, sino que también necesitan un suministro continuo de néctar y polen provisto por los paisajes agrícolas circundantes (Holzchuh *et al.*, 2007). La mayoría de estos bordes albergan gran cantidad de especies vegetales tanto herbáceas como leñosas, nativas y exóticas. (Dalmazzo, 2010; Torretta & Poggio, 2013; Stupino *et al.*, 2017). Por ello es importante como primer paso para llevar a cabo acciones que permitan proteger a los polinizadores, realizar estudios de diversidad que abarquen no solo al conjunto de polinizadores, sino también en primera instancia, las principales fuentes de alimento disponible (Lucia *et al.*, 2017).

El grado de dependencia reproductiva de una especie de planta con respecto a los polinizadores es un estimador de la disminución en el rendimiento de las cosechas que se pueden obtener ante la ausencia de polinizadores. Asociado a los cultivos que dependen de polinizadores, se ha observado que la demanda en el servicio de polinización de numerosos cultivos alrededor del mundo, no solamente está en aumento sino que además lo hace en forma desproporcionada a la cantidad disponible de colmenas de *A. mellifera* utilizadas para polinizarlos (Aizen & Harder, 2009; Aizen *et al.*, 2019). Una situación similar se ha observado en Argentina donde aumenta la superficie de cultivos dependientes de polinizadores en detrimento de áreas naturales que los alberguen (Chacoff *et al.*, 2010). Así por ejemplo aquellos cultivos de cucurbitáceas tales como zapallo, zapallito de tronco, sandía y melón presentan un nivel de dependencia esencial, por lo tanto en ausencia de polinizadores, su producción puede disminuir en un 90%, mientras que en cultivos con dependencia baja como es el caso de frutales como limones y naranjas (*Citrus* sp.) su disminución en el rendimiento ronda del 0 al 10% (Klein *et al.* 2007; Chacoff *et al.*, 2010). Es por ello que el estudio de los polinizadores resulta clave no solo para favorecer el mantenimiento de

las especies vegetales en los ecosistemas naturales, sino también para la producción de diversos cultivos de consumo humano.

Entre los insectos que forman parte del gremio de los polinizadores, se encuentran las abejas (Hymenoptera, Apoidea), cuyos adultos y larvas obtienen su fuente de proteínas alimentándose casi exclusivamente de granos de polen aportados por la recolección por parte de las hembras (Roubik, 1989; Michener, 2007). Una excepción a esta fuente proteica fue observada en especies neotropicales y sociales dentro del grupo de los Meliponini (género *Trigona*) donde fueron observados individuos adultos alimentándose de animales muertos y en descomposición, siendo esta condición de necrofagia obligada o facultativa (Roubik, 1982). Debido a esta forma de alimentar a sus crías, ya sea en forma continua o no, las abejas poseen especializaciones estructurales y etológicas (comportamentales) para recolectar polen de las flores que visitan (Proctor *et al.*, 1996; Michener, 2007). De esta manera se convierten en los visitantes florales más importantes al actuar como vectores en la polinización de especies vegetales tanto en ecosistemas naturales como en cultivos (Buchmann & Nabhan, 1996; Abrol, 2012). De hecho, las asociaciones entre plantas y abejas polinizadoras son a veces tan estrechas que la falta de una de ellas puede determinar la extinción de la otra; por lo tanto, el mantenimiento de la diversidad vegetal depende en gran medida de la polinización (Huffaker & Rabb, 1984; Neff & Simpson, 1993; Beismejjer *et al.*, 2006; Fontaine *et al.*, 2006).

Argentina posee una gran diversidad de abejas nativas superando las 1.100 especies pertenecientes a cinco de las siete familias actuales a nivel mundial y agrupadas en 230 géneros (Roig-Alsina, 2008; Freitas *et al.*, 2009). De hecho, las regiones áridas y semiáridas de nuestro país, representan uno de los centros de mayor diversidad de abejas silvestres a nivel mundial (Michener, 1979). A pesar de ello, el conocimiento de la apifauna en Argentina está limitado a ciertas regiones del país, siendo muy importante realizar estudios que permitan relevar nuevas áreas, y de este modo ampliar nuestro conocimiento sobre su diversidad y biología. Nuestro conocimiento sobre las abejas proviene de estudios relacionados a la diversidad de las mismas en diversos ambientes (naturales, seminaturales y urbanos), a partir del estudio de diversidad, redes de interacción planta-polinizador e investigaciones sobre la biología de algunas especies de abejas en particular entre otras fuentes de información (Jensen-Haaroup, 1908; Jörgensen, 1909, 1912; Michelette & Camargo, 2000; Medan *et al.*, 2002; Vázquez & Simberloff, 2002; Vázquez *et al.*, 2008; Dalmazzo, 2010; Dalmazzo & Roig-

Alsina, 2012; Sáez *et al.*, 2012; Torretta & Poggio, 2013; Alvarez *et al.* 2015; Alvarez *et al.*, 2016; Mazzeo & Torretta, 2015; Le Féon *et al.*, 2015; Lucia *et al.*, 2017, 2020; Ramello *et al.*, 2020). El estudio de la diversidad de abejas presente en el Cinturón Hortícola Platense (CHP) es muy importante como primer paso para conocer la composición del ensamble de polinizadores silvestres nativos y exóticos asociados a ambientes agrícolas de la región productiva en el Gran La Plata. El conocimiento obtenido en este sentido a partir de la apifauna observada en los bordes de cultivos permitirá obtener información relevante sobre diversos aspectos de su biología y distribución temporal de las diferentes especies, siendo de gran interés para su conservación y para estudios posteriores sobre su potencialidad como polinizadores de diversos cultivos, incluidos los de cucurbitáceas. A raíz de la falta de información al respecto, se plantean los siguientes objetivos particulares para este capítulo:

- 1) Conocer y comparar la riqueza, abundancia y diversidad de las especies de abejas presentes en bordes de cultivo en establecimientos del Cinturón Hortícola Platense (CHP) con diferentes manejos agrícolas (orgánicos, convencionales y en transición agroecológica).
- 2) Identificar las principales fuentes de alimento utilizadas por las abejas en bordes de cultivo del área de estudio.

Materiales y métodos

Trabajo de campo

Establecimientos estudiados y temporadas de muestreo

Para el estudio de la diversidad de abejas presentes en bordes de cultivos se seleccionaron ocho establecimientos hortícolas pertenecientes en diferentes localidades dentro Cinturón Hortícola Platense (CHP; ver Tabla 1.1 en Capítulo I). Los muestreos se realizaron durante dos temporadas consecutivas 2015-2016 y 2016-2017, iniciando en el mes de octubre y finalizando en el mes de marzo (Tabla 1.1, Capítulo I). La selección del período de estudio fue determinada a partir de los resultados obtenidos en trabajos previos realizados en el área de estudio (Alvarez *et al.*, 2015) y a ensayos preliminares realizados antes del inicio de los muestreos de esta tesis. De esta manera el período

seleccionado representa los meses de mayor actividad de las especies de abejas presentes en la zona de estudio. Los censos fueron llevados a cabo bajo condiciones climáticas que permitieron la actividad normal de las abejas (temperatura superior a 17°C, ausencia de nubosidad y vientos leves o moderados durante al menos la mitad del tiempo de muestreo y ausencia de precipitaciones). Además, el período seleccionado abarca no solo los meses de floración de los cultivos de interés en esta tesis, las cucurbitáceas (diciembre-marzo), sino también los meses previos a la misma.

Los establecimientos productivos seleccionados variaron en su manejo de plagas y enfermedades y fueron clasificados en las tres categorías detalladas en Materiales y Métodos del Capítulo I, a saber: Cultivos con Manejo Orgánico (CMO), Cultivos con Manejo en Transición agroecológica (CMT) y Cultivos con manejo Convencional (CMC).

El número de establecimientos estudiados, así como el manejo agrícola llevado a cabo en los mismos, varió entre ambas temporadas. Durante la temporada 2015-2016 los estudios fueron llevados a cabo en cuatro establecimientos productivos, dos orgánicos y dos convencionales. Durante la segunda temporada (2016-2017) fueron incorporados cuatro sitios más obteniendo un total de ocho establecimientos. Es por ello que durante la segunda temporada se estudiaron en total tres CMO, dos CMC y tres CMT. La incorporación de más establecimientos permitió obtener una mayor representatividad de las especies de abejas presentes en la zona de estudio. La distancia mínima entre cada establecimiento fue de 1 km para mantener la mayor independencia posible entre los sitios, a excepción de los establecimientos CMO 3 y CMC 2 que estuvieron separados por una menor distancia. Esta distancia mínima fue tomada en cuenta a partir de trabajos previos que estimaron las distancias máximas potenciales de forrajeo de las especies de abejas teniendo en cuenta medidas morfológicas (Cane, 1987; Greenleaf *et al.*, 2007) y la capacidad real de las especies de cubrir tales distancias para conseguir alimento y volver al nido (Zurbuchen *et al.*, 2010).

Debido a que un aumento en el número de muestreos aumenta la posibilidad de coleccionar especies raras (Magurran & McGill, 2011), los muestreos fueron realizados mensualmente en cada sitio a fin de obtener toda la información posible sobre las abejas presentes en el área. Sin embargo, el número de censos realizado en cada establecimiento varió en función de las condiciones meteorológicas (bajas temperaturas o vientos fuertes ver más adelante) y a la posibilidad de ingreso a algunos establecimientos productivos luego de lluvias y tormentas. Otro factor que influyó en

el número de muestreos realizados por sitio fue el desmalezado mecánico sobre los bordes de cultivo llevado a cabo por los productores en algunas oportunidades y de manera no sistemática, disminuyendo drásticamente la flora presente. Por este motivo, en algunos ensayos no se pudieron llevar a cabo los censos pertinentes por más de 30 días entre censo y censo. Esta práctica cultural fue observada tanto en establecimientos orgánicos como en convencionales, mientras que el uso de herbicidas para desmalezar fue observado en una sola oportunidad en un establecimiento convencional intensivo.

Metodología de recolección y toma de datos

El estudio de la diversidad de las abejas presentes en los bordes de cultivos se llevó a cabo sobre los bordes de tipo permanentes y silvestres, es decir, aquellos que se forman naturalmente por regeneración de la flora, a diferencia de las franjas temporarias que son sembradas como una práctica cultural para atraer insectos beneficiosos (Marshall y Moonen, 2002) y que no ha sido observada en los establecimientos estudiados. Para los censos se siguió la metodología propuesta por Sakagami *et. al.* (1967). La misma consiste en caminar lentamente sobre una transecta delimitada previamente durante 15 minutos cada una hora, registrando y recolectando con una red entomológica las abejas presentes en las flores. Dichos censos fueron realizados entre las 08:00 am hasta las 17:00 pm, abarcando el horario de forrajeo de las abejas. El número de censos varió en algunas oportunidades debido a las condiciones climáticas del día, considerándose un mínimo de cuatro y un máximo de seis censos por día, y realizándose al menos dos transectas antes del mediodía y dos posterior a la misma. Las transectas fueron distribuidas al azar y cada una fue de 30 m lineales, con un metro de captura hacia ambos lados del observador, abarcando una superficie de muestreo de 60 m². Las abejas sobre las flores fueron recolectadas por medio de redes entomológicas, sacrificadas en frascos mortíferos y trasladadas al laboratorio para su posterior identificación.

Para el estudio de los recursos florales se tuvieron en cuenta aquellas especies de plantas visitadas por las abejas. Para la identificación de las plantas se herborizó material y se tomaron fotografías de ejemplares para su posterior identificación.

Trabajo en el laboratorio

Procesamiento e identificación de abejas y plantas

Los insectos fueron lavados y secados según el método sugerido por Droege (2010) en aquellos casos en donde presentaban suciedad que dificultaba su conservación. Para ello cada espécimen fue lavado en un recipiente plástico con una mezcla de agua tibia con jabón para eliminar la suciedad. Posteriormente, fueron secados mediante la utilización de secadores especiales que permitan la correcta eliminación de la humedad. Finalmente, los insectos fueron montados en seco en alfileres, etiquetados y almacenados para su identificación taxonómica. Los especímenes fueron clasificados siguiendo la propuesta por Michener (2007). Para la observación de los individuos se utilizó un microscopio estereoscópico Nikon® SMZ 745. La identificación de las especies se realizó mediante el uso de claves dicotómicas (Cure, 1989; Coelho, 2004; Abrahamovich *et al.*, 2005; Michener, 2007; Roig-Alsina, 1999, 2008, 2016; Dalmazzo & Roig-Alsina, 2011; Lucia *et. al.*, 2014, 2015; González *et al.*, 2018; González-Vaquero, 2010) comparación con descripciones originales y con material de referencia depositado en la colección entomológica de la División de Entomología del Museo de La Plata. Los ejemplares fueron depositados en la Colección Entomología del Museo de La Plata.

La identificación del material vegetal herborizado fue realizada utilizando claves dicotómicas y consulta con especialistas. Los nombres científicos de las especies vegetales fueron cotejados con el Índice Internacional de Nombres de Plantas (IPNI), Cabrera (1978), Zuloaga *et al.* (2008) y también se utilizaron repositorios de las páginas <https://www.tropicos.org/home> y <http://buscador.floraargentina.edu.ar/works>. En aquellos casos donde los ejemplares no pudieron identificarse a nivel específico (tanto las abejas como las plantas), lo mismos fueron asignados a morfoespecies pertenecientes al nivel taxonómico superior hasta el que pudo clasificarse (género/familia). Las fotografías a campo, tanto de abejas como de plantas, fueron tomadas con una cámara digital Cannon® T5i.

Análisis de los datos

Análisis de la apifauna

La comunidad de abejas fue caracterizada tanto a nivel de paisaje (abarcando todos los establecimientos) como a nivel local (cada establecimiento por separado). Para analizar la variación estacional (fenología) de las especies de abejas a nivel del paisaje, fueron utilizados datos obtenidos de todos los censos durante ambas temporadas. El objetivo de este análisis fue observar cambios temporales en la riqueza, abundancia y patrones de actividad de las diferentes especies de abejas a lo largo de la época de vuelo. Para ello, los períodos de muestreos fueron clasificados de la siguiente manera:

Primavera temprana	Desde el 21-IX al 21-X
Primavera media	Desde el 22-X al 21-XI
Primavera tardía	Desde el 22-XI al 21-XII
Verano temprano	Desde el 22-XII al 21-I
Verano medio	Desde el 22-I al 21-II
Verano tardío	Desde el 22-II al 21-III

El estudio de la estructura de la comunidad de abejas presente en bordes de cultivo a escala de paisaje fue llevado a cabo por medio del análisis de la riqueza y de la abundancia de las especies. Para ello, se estudió la dominancia de las especies de abejas a partir de la metodología propuesta por Meléndez-Ramírez *et al.* (2002) que tiene en cuenta tanto la abundancia de las abejas registradas como la constancia de aparición de las mismas en los censos. El análisis consiste en calcular la Dominancia Relativa (DR) para cada especie de abeja considerada “común” en el estudio, es decir, aquellas especies que fueron recolectadas en más de dos muestreos a lo largo del estudio (en caso contrario, dicha especie fue clasificada como “rara”, ver más adelante). La DR fue calculada a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{abundancia relativa} + \text{frecuencia relativa}}{2}$$

dónde:

$$\text{Abundancia relativa} = \frac{\text{abundancia especie } i}{\text{abundancia total}} \times 100$$

y

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{frecuencia especie } i}{\text{frecuencia total}} \times 100$$

Los valores obtenidos de DR (entre 0 y 100%) fueron utilizados para clasificar las especies en dominantes ($DR \geq 5\%$) o no dominantes ($DR < 5\%$). Debido a que la especie *Apis mellifera* L. fue muy abundante y constante en los muestreos, su inclusión en los análisis antes mencionados podría provocar un sesgo en la dominancia observada en el resto de las especies nativas. Debido a ello, el estudio fue realizado en primera instancia incluyendo a *A. mellifera*, y posteriormente excluyéndola, a fin de observar cambios en la dominancia de las especies nativas. Se clasificaron como “raras” aquellas presentes solamente en uno o dos muestreos y generalmente con bajas abundancias. Las mismas a su vez fueron separadas según el número de individuos recolectados en los censos en *singletons* (presentando un solo individuo observado) o *doubletons* (con sólo dos individuos observados), y según el número de veces (censos) que fue observada dicha especie: *uniques* (dos o más individuos colectados en un sólo muestreo) o *duplicates* (tres o más individuos colectados en sólo dos muestreos) (Longino *et al.* 2002; Meléndez-Ramírez *et al.*, 2002; Gotelli & Colwell, 2011).

El estudio de la diversidad presente en cada sitio fue llevado a cabo para dos temporadas consecutivas (2015-2016 y 2016-2017) y evaluadas por separado dado que en ambas temporadas variaron tanto el número de sitios como la cantidad de muestreos realizados en cada uno. La caracterización de cada sitio fue realizada a partir de la riqueza observada (S), el índice de diversidad H' (Shannon-Wiener, 1948), su transformación a números efectivos de especies (S'), el índice de equitatividad (J), y el índice de Dominancia de Simpson (Magurran & McGill, 2011; Jost, 2006). Sus fórmulas generales son:

- Índice de Shannon-Wiener: $H' = -\sum p_i \ln p_i$
- Diversidad verdadera (números efectivos de especies): $S' = \exp(H')$
- Índice de Simpson: $1-D = 1 - (\sum p_i^2)$
- Índice de Equidad: $J = H' / H'_{\max}$

donde p_i representa la abundancia relativa de cada especie de abeja y H'_{\max} es el logaritmo natural de la riqueza ($\ln S$), que representa el número máximo de diversidad que podría obtenerse cuando todas las especies observadas son igualmente abundantes

en los muestreos (Magurran, 1988). La riqueza observada (S) representa al total de especies observadas en los muestreos para cada sitio, siendo una métrica importante que informa de la manera más sencilla la estructura de la comunidad estudiada (Maurer & McGill, 2011). El índice de Shannon-Wiener (H') si bien nos permite comparar entre la diversidad presente en un ambiente dado con respecto a otro, al ser valores de entropía del sistema en estudio puede llevar a su interpretación errónea de tales valores entre las diferentes comunidades (Jost, 2006). Sin embargo, es un índice muy útil e interesante de diversidad ya que tiene en cuenta tanto el número de especies como su abundancia para realizar su cálculo. A fin de obtener una mejor interpretación de la diversidad observada en cada sitio, se calculó la “diversidad verdadera (números efectivos de especies)” (ver en Jost, 2006) a partir del valor de H' obtenido que permite unificar el número de especies comunes para comparar cuantas veces un sitio es más diverso con respecto a otro. El valor resultante se traduce como el número de especies igualmente comunes necesarias para alcanzar el valor de H' calculado previamente, es decir, permite comparar el número de especies y no un valor de entropía (S'). El índice de Equidad o uniformidad (J) representa la proporción entre la diversidad encontrada en la comunidad y la diversidad máxima que la misma pudiera tener, oscilando entre 0 y 1 su valor. La dominancia de Simpson (D) da cuenta sobre la probabilidad de que dos individuos extraídos al azar de una comunidad infinita pertenecieran a la misma especie en una comunidad, y al obtenerse a partir de las abundancias relativas (p_i) de cada especie, su valor es sensible a las especies dominantes (Magurran, 1988). Además, es incompleto por sí solo como índice de diversidad, ya que sólo informa sobre la variabilidad presente en cada especie, sin tener en cuenta la variabilidad que podría existir entre las distintas especies, a diferencia del índice de Shannon (Magurran, 1988; Maurer & McGill, 2011). Por ello, se utilizó el índice de diversidad al sustraerle una unidad al valor de D como medida de equidad (Maurer & McGill, 2011). Así mismo, la estructura de la comunidad presente en los diferentes establecimientos fue analizada gráficamente a partir de gráficos de rango-abundancia (Magurran, 1988). Los mismos consisten en graficar cada especie de abeja en orden decreciente en función del rango que ocupan según su valor de abundancia. Para ello se grafica sobre el eje de ordenadas al origen (“y”) las abundancias registradas mientras que sobre el eje se ubican las especies observadas. De esta manera se ordenan sobre el eje x las especies a partir de sus abundancias siendo la más cercana al eje y aquella especie con la mayor abundancia, luego se incorpora la siguiente en número de individuos, repitiendo este

procedimiento hasta ubicar a todas las especies. Debido a que las abundancias observadas en algunos casos presentan grandes diferencias entre las distintas especies, a fin de favorecer la visualización de los patrones en las comunidades las abundancias fueron presentadas en escala logarítmica de base 10.

La riqueza de abejas presente en cada establecimiento fue estudiada para cada sitio y temporada a través de estandarizaciones por medio de curvas de rarefacción, permitiendo de este modo la comparación a pesar de encontrarse diferencias en el número de individuos o en el esfuerzo de muestreo realizado. Para ello se realizaron curvas de especies a partir de remuestreos aleatorios de n muestras al azar a partir de la muestra general para cada sitio y temporada analizada (ver Gotelli & Colwell, 2001 para una mayor explicación de la metodología). De esta manera, la rarefacción genera el número esperado de especies para una pequeña colección de n individuos (o n muestras) extraídos al azar a partir del gran grupo de N individuos (o N muestras). Esta técnica es muy útil para comparar información sobre la riqueza de diversos sitios a partir de la abundancia obtenida y del número de muestreos (Magurran & McGill, 2011; Gotelli & Colwell, 2001). Las curvas de rarefacción fueron realizadas con el programa EstimateS (Colwell, 2013a) utilizando 100 aleatorizaciones con reemplazo. A fin de evitar errores en la interpretación de las curvas debido a la falta de independencia de los individuos dentro de cada muestreo, se graficó la riqueza de especies para cada sitio en función del número de muestreos realizados y luego en función del número de individuos (Gotelli & Colwell, 2011). Utilizando el mismo programa, fueron calculados estimadores no paramétricos basados en abundancia e incidencia de las especies, a fin de evaluar la performance de los muestreos realizados (Gotelli & Colwell, 2001; Colwell *et al.*, 2004). Para ello, la riqueza observada fue evaluada a partir de estimadores basados en el número de individuos registrados: Chao1 y ACE (estimador de cobertura basado en la abundancia; Chao, 1984; Chao & Lee, 1992). Los mismos fueron calculados con un umbral de abundancia para las especies infrecuentes o raras en 10 siguiendo las sugerencias de diversos autores (Colwell, 2013b; Lee & Chao, 1994). Debido a que la agregación espacial extrema (por ej. especies coloniales o gregarias) puede causar sesgos en el estudio de abundancias (Longino *et al.*, 2002), también fueron calculados estimadores basados en la incidencia de las especies de abejas: Chao2 e ICE (estimador de cobertura basado en la incidencia; Gotelli & Colwell, 2011). Al calcular tanto los estimadores de abundancia como los de incidencia, se observó que el coeficiente de variación nunca fue menor a 0,5, y debido a

que las fórmulas de corrección de sesgos se vuelven imprecisas con estos valores, se prosiguió a su cálculo a partir de sus fórmulas clásicas (Colwell, 2013b; Gotelli & Colwell, 2011). Finalmente, con los valores obtenidos de los estimadores, se procedió a calcular la completitud de los inventarios para cada sitio y para cada año, a fin de determinar el porcentaje de especies registradas de las que se esperarían encontrar en cada uno de ellos.

La evaluación de la contribución del manejo agrícola a la diversidad de abejas presente en cada establecimiento fue realizado utilizando Modelos Lineales Mixtos, que contemplan tanto factores explicativos fijos como aleatorios (Zuur *et al.*, 2009). Los mismos contemplaron como variable respuesta a la diversidad (índice de Shannon-Wiener) calculado para cada día a través de las transectas realizadas durante el mismo mientras que la variable utilizada como factor fijo fue el manejo agrícola (variable categórica con tres niveles: orgánico, convencional y en transición agroecológica). Debido a que el tipo diseño experimental estuvo caracterizado por estructuras anidadas, en donde se obtuvieron pseudoréplicas para cada establecimiento y con desbalances de censos por sitio, se incorporó al modelo la variable “establecimiento” y “establecimiento/fecha de muestreo” como factores aleatorios permitiendo modelar de esta manera la estructura de dependencia de las observaciones realizadas en cada establecimiento y para cada día (ver Sáez *et al.*, 2014). A partir de la metodología propuesta por Zuur *et al.* (2009), se evaluó y comparó el efecto de incorporación de las variables aleatorias en el modelo a fin de observar su comportamiento. Debido a que la implementación del anidamiento del día dentro de cada establecimiento no favoreció a mejorar la estructura del modelo, el mismo fue retirado del mismo y solo se utilizó la variable “establecimiento” como aleatoria para realizar el análisis posterior. Todos los análisis fueron llevados a cabo con el software R ver. 3.6.0 (R Core Team, 2019), utilizando la función “lmer” del paquete lme4 (Bates *et al.*, 2015).

Así mismo, se incorporó información relevante sobre hábitos de vida, estructura social (solitarias, con algún grado de sociabilidad o cleptoparásitas) y sitios de nidificación (en el suelo o sobre el mismo en cavidades preexistentes o realizadas por las mismas) a partir de observaciones personales durante la realización del estudio, trabajos previos realizados en el país y bibliografía disponible de referencia (Coelho, 2004; Michener, 2007; Dalmazzo, 2010; González-Vaquero, 2010; Dalmazzo & Roig-

Alsina, 2012; Dalmazzo & Roig-Alsina, 2015; Mazzeo & Torretta, 2015; Ramello *et al.*, 2020).

Análisis de la riqueza de plantas donde se observó la actividad de abejas

El estudio de las especies vegetales utilizadas por las especies de abejas consistió en identificar las especies/morfoespecies de plantas que recibieron las visitas de las diferentes especies de abejas durante el período de estudio. Además, se calculó un índice de visitas teniendo en cuenta la importancia de cada familia de plantas para cada especie de abeja en particular, a fin de observar la importancia global de dichas familias y evitando sesgos que puedan surgir por la abundancia de cada especie de abeja observada. Para ello se calculó el índice de las familias de plantas más utilizadas por las abejas propuesto por Wilms *et al.* (1996), con la modificación de que se incorporaron tanto las especies de abejas sociales como las solitarias recolectadas en las flores. Para el cálculo del índice se utilizaron la mayoría de las especies de abejas registradas (representando el 63,3%), a excepción de las especies raras con uno o dos individuos registrados, a fin de evitar sesgos por su baja abundancia (representando al 0,78% del total de las observaciones realizadas). A partir de ello, fueron seleccionadas las familias de plantas con un número mayor a 10 visitas entre ambas temporadas, dando como resultado solo 14 familias que cumplían estos requisitos. A partir de allí, el índice fue construido a partir de los valores obtenidos de un ranking que contiene a las familias de plantas más utilizadas por cada especie de abeja. Dicho ranking fue creado otorgándole 14 puntos a la familia más visitada por la especie de abeja i , 13 puntos a la segunda familia de plantas más visitada por la misma especie i , y así sucesivamente. Por ejemplo, la "especie i " visitó con más frecuencia a la familia Asteraceae, seguido por las familias Brassicaceae y Fabaceae, con lo cual a tales familias se les otorgan los puntajes 14, 13 y 12 respectivamente. El mismo cálculo vuelve a realizarse para todas las especies de abejas incluidas en el estudio. Una vez concluido el paso previo el cálculo del índice de visitas propuesto es obtenido por medio de la suma de los diferentes valores obtenidos para cada familia de plantas por parte de cada especie de abeja. Finalmente, las familias que obtienen los mayores valores son las más importantes para la mayoría de especies de abejas que fueron observadas forrajeando sobre los bordes de cultivos. De esta manera se pueden realizar inferencias cualitativas sobre la importancia de cada familia de planta para el conjunto de las especies de abejas independientemente de la estructura social de las mismas, evitando de este

modo el sesgo relacionado a aquellas especies de abejas que presentan grandes abundancias (por ejemplo, las especies sociales).

Resultados

Diversidad de abejas

Fueron registradas 79 especies de abejas pertenecientes a 33 géneros agrupadas en cinco familias (Tabla 2.1). La familia Megachilidae presentó el mayor número de especies (n=25), seguida por Halictidae (n=22) y Apidae (n=20), mientras que las familias Andrenidae y Colletidae presentaron los menores valores de riqueza (ocho y cuatro especies respectivamente). El esfuerzo de muestreo realizado entre ambas temporadas fue de 4.515 minutos (75,25hs) sumando un total de 69 días repartidos entre ambas temporadas.

La abundancia de abejas registrada fue de 5.284 individuos de los cuales 4.055 pertenecieron a la familia Apidae (representando el 76,74% del total de las observaciones), 1.080 individuos a la familia Halictidae (20,44%), 94 individuos a la familia Andrenidae (1,78%), 50 individuos a la familia Megachilidae (0,94%) y sólo 5 a la familia Colletidae (0,1%). La mayor abundancia registrada fue para la especie *Apis mellifera* representando el 61,43% de los individuos totales observados (n = 3246; Tabla 2.1). La exclusión de esta última especie disminuye el número de observaciones a 2038 individuos totales y posiciona a los halictidos como la familia más abundante con el 53% de los registros, seguidos por los ápidos (39,69%), andrenidos (4,61%), megaquílicos (2,45%) y colétidos (0,25%) respectivamente.

El estudio de la comunidad de abejas permitió identificar 42 especies “comunes” (53,16% de las especies totales; Tabla 2.1), de las cuales sólo cuatro especies fueron clasificadas como dominantes ($DR \geq 5\%$) y 38 como no dominantes ($DR < 5\%$). Los valores de dominancias relativas de las especies dominantes variaron entre 5,21% y 36,7% (Figura 2.1). La especie *A. mellifera* alcanzó el mayor valor de dominancia relativa ($DR = 36,7$), superando casi 5,6 veces el valor de la especie que le sigue en dominancia (*Bombus pauloensis* Friese, $DR = 6,6$). Es de destacar que la especie *A. mellifera* estuvo presente en 67 de los 69 muestreos realizados (97,1%), mientras que la especie *B. pauloensis* estuvo presente solamente en 39 muestreos (56,5%). También se observó que al quitar del análisis a la especie más abundante *A. mellifera*, los valores de dominancia aumentaron en todos los casos (Figura 2.1). Es por ello que dos especies de

Tabla 2.1. Listado de las especies de abejas registradas en bordes de cultivos del Cinturón Hortícola Platense en las temporadas 2015-2016 y 2016-2017. Las especies fueron ordenadas alfabéticamente por familias y géneros. Referencias: Períodos de muestreo: PrTe: primavera temprana, PrMe: primavera media, PrTa: primavera tardía, VeTe: verano temprano, VeMe: verano medio, VeTa: verano tardío. Abundancia registrada por especie: n; R. (especies raras): Uni (únicas), Dup (duplicadas), Sin (singletons), Dou (doubletons); D.R. (Dominancia relativa): D (dominante) y ND (no dominante). G.S. (Grado de sociabilidad): solitarias (Sol), sociales (Soc), cleptoparásitas (Cle), sin información disponible (-). S.N. (sustrato de nidificación): Sue: por debajo del nivel del suelo, Cav: por encima del suelo en cavidades preexistentes o formadas por ellas sobre materiales de origen vegetal o de otro origen.

ID	FAMILIA Especies/morfespecies	PERÍODOS DE MUESTREO						n	R.	D.R.	G.S.	S.N.
		PrTe	PrMe	PrTa	VeTe	VeMe	VeTa					
ANDRENIDAE												
1	<i>Anthrenoides</i> sp. 1		1	10			1	12		ND	Sol	Sue
2	<i>Anthrenoides</i> sp. 2		3					3	Dup	-	Sol	Sue
3	<i>Parapsaenythia serripes</i> (Ducke)				1	1	1	3		ND	Sol	Sue
4	<i>Psaenythia</i> sp. 1		3	24	2	1		30		ND	Sol	Sue
5	<i>Psaenythia</i> sp.2			6	5			11		ND	Sol	Sue
6	<i>Psaenythia</i> sp.3		1	4	14	2	1	22		ND	Sol	Sue
7	<i>Psaenythia</i> sp.4				7	2	3	12		ND	Sol	Sue
8	<i>Rophitulus</i> sp. 1				1			1	Sin	-	Sol	Sue
APIDAE												
9	<i>Apis mellifera</i> L.	473	917	455	491	503	407	3246		ND	Soc	Cav

10	<i>Bombus (Fervidobombus) bellicosus</i> Smith		6	1			4	11		ND	Soc	Cav
11	<i>Bombus (Fervidobombus) pauloensis</i> Friese	5	6	3	101	127	109	351		ND	Soc	Cav
12	<i>Brachynomada</i> sp. 1			1	1	1		3		ND	Cle	-
13	<i>Ceratina (Rhysoceratina) pusilla</i> Roig-Alsina		3	5			1	9		ND	Sol	Cav
14	<i>Ceratina (Crewella) rupestris</i> Holmberg	14	28	69	4	24	41	180		ND	Sol	Cav
15	<i>Chalepogenus muelleri</i> (Friese)			1	2			3	Dup	-	Sol	Sue
16	<i>Chalepogenus roitmani</i> Roig-Alsina			1			1	2	Dou	-	Sol	Sue
17	<i>Epeolus (Trophocleptria) variolosa</i> (Holmberg)					1		1	Sin	-	Cle	-
18	<i>Gaesischia</i> sp. 1				7	4		11		ND	Sol	Sue
19	<i>Melissodes (Eclectica) tintinnans</i> (Holmberg)			7	101	22	16	146		ND	Sol	Sue
20	<i>Melissoptila bonaerensis</i> Holmberg				1	14	10	25		ND	Sol	Sue
21	<i>Melissoptila desiderata</i> (Holmberg)					2		2	Dou	-	Sol	Sue
22	<i>Osirinus</i> sp. 1			1				1	Sin	-	Cle	-
23	<i>Thygater (Thygater) analis</i> (Lepeletier)				6	4	6	16		ND	Sol	Sue
24	<i>Xylocopa (Stenoxycopa) artifex</i> Smith		2	9	4			15		ND	Sol	Cav
25	<i>Xylocopa (Neoxycopa) augusti</i> Lepeletier	2	12	4		2	1	21		ND	Sol	Cav

26	<i>Xylocopa (Nanoxycopa) ciliata</i> Burmeister		2	2				4		ND	Sol	Cav
27	<i>Xylocopa (Schonnerria) macrops</i> Lepeletier			2				2	Uni	-	Sol	Cav
28	<i>Xylocopa (Schonnerria) splendidula</i> Lepeletier			3	1		2	6		ND	Sol	Cav
COLLETIDAE												
29	<i>Colletes</i> sp. 1			1	1			2	Dou	-	Sol	Sue
30	<i>Hylaeus (Spatulariella) punctatus</i> (Brullé)				1			1	Sin	-	Sol	Cav
31	<i>Hylaeus</i> sp. 1				1			1	Sin	-	Sol	Cav
32	<i>Hylaeus</i> sp. 2						1	1	Sin	-	Sol	Cav
HALICTIDAE												
33	<i>Augochlora (Augochlora) amphitrite</i> (Schrottky)	2	7	15	11	34	18	87		ND	Soc	Cav
34	<i>Augochlora (Oxystoglossella) iphigenia</i> Holmberg	1	76	28	11	39	12	167		D	Soc	Sue
35	<i>Augochlora (Augochlora) phoemonoe</i> (Schrottky)	11	7	8	17	17	3	63		ND	Soc	Cav
36	<i>Augochlorella ephyra</i> (Schrottky)	1	3		1	5	1	11		ND	Soc	Sue
37	<i>Augochloropsis berenice</i> (Smith)		17	5	12	10	7	51		ND	-	Sue
38	<i>Augochloropsis euterpe</i> (Holmberg)	2	29	8	9	12	3	63		ND	-	Sue

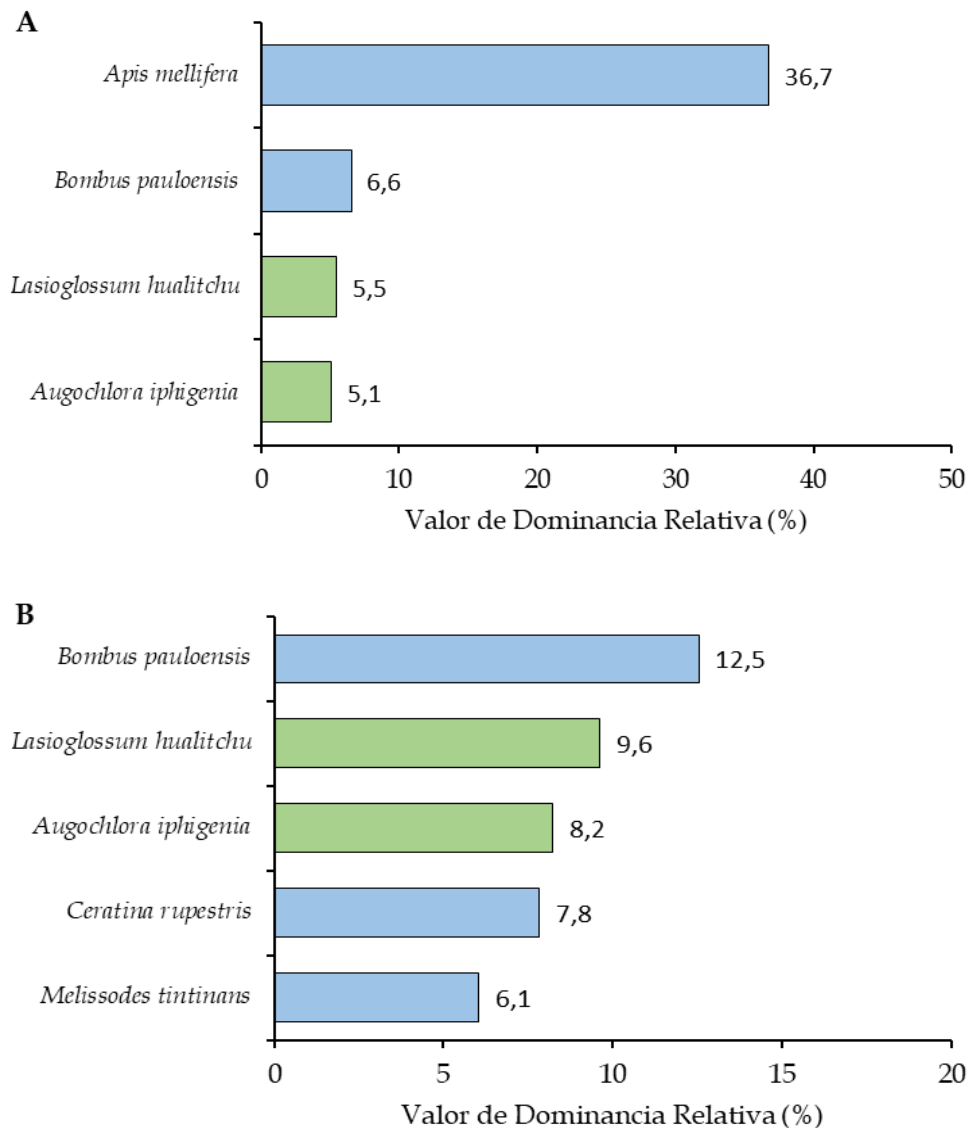
39	<i>Augochloropsis multiplex</i> (Vachal)	5	15	16	6	3		45		ND	-	Sue
40	<i>Augochloropsis pomona</i> (Holmberg)	3	6	2			2	13		ND	-	Sue
41	<i>Augochloropsis tupacamaru</i> (Holmberg)	5	17	29	13	5	9	78		ND	-	Sue
42	<i>Halictillus amplilobus</i> González-Vaquero		25					25		ND	Soc	Sue
43	<i>Lasioglossum (Dialictus) hualitchu</i> (Holmberg)	53	118	25	17	19	4	236		D	Soc	Sue
44	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 1		3					3	Dup	-	-	Sue
45	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 2	1	12	5	10	8	1	37		ND	-	Sue
46	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 3	1	32	3	4	22	5	67		ND	-	Sue
47	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 4	1	21	4	1	1		28		ND	-	Sue
48	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 5		19	1	14	3		37		ND	-	Sue
49	<i>Lasioglossum (Dialictus) tinguirica</i> (Holmberg)		17	6	3	12	2	40		ND	Soc	Sue
50	<i>Paroxystoglossa barbata</i> Moure		1					1	Sin	-	Sol	Sue
51	<i>Pseudagapostemon (Pseudagapostemon) olivaceosplendens</i> (Strand)	3	4		1	1	2	11		ND	Sol	Sue
52	<i>Pseudagapostemon (Neagapostemon) puelchanus</i> (Holmberg)		6			1		7	Dup	-	Sol	Sue
53	<i>Ruizantheda divaricata</i> (Vachal)		7					7	Uni	-	Sol	Sue

54	<i>Temnosoma</i> sp. 1					2	1	3	Dup	-	Cle	-
MEGACHILIDAE												
55	<i>Anthodioctes</i> (<i>Anthodioctes</i>) <i>megachiloides</i> Holmberg				1	3		4	Dup	-	Sol	Cav
56	<i>Coelioxys</i> sp. 1					2	2	4		ND	Cle	-
57	<i>Hypanthidioides</i> (<i>Ctenanthidium</i>) <i>gracilis</i> (Urban)					1		1	Sin	-	Sol	Cav
58	<i>Hypanthidioides</i> (<i>Ctenanthidium</i>) <i>bifasciata</i> (Urban)					1		1	Sin	-	Sol	Cav
59	<i>Epanthidium</i> <i>bicoloratum</i> (Smith)			1	2		1	4		ND	Sol	Cav
60	<i>Megachile</i> (<i>Acentron</i>) sp. 1						1	1	Sin	-	Sol	Cav
61	<i>Megachile</i> (<i>Austromegachile</i>) <i>susurrans</i> Haliday						1	1	Sin	-	Sol	Cav
62	<i>Megachile</i> (<i>Chalepochile</i>) sp. 1						1	1	Sin	-	Sol	Cav
63	<i>Megachile</i> (<i>Chrysosarus</i>) <i>jenseni</i> (Friese)				1	1		2	Dou	-	Sol	Cav
64	<i>Megachile</i> (<i>Chrysosarus</i>) sp. 1						1	1	Sin	-	Sol	Cav
65	<i>Megachile</i> (<i>Chrysosarus</i>) sp. 2					1	1	2	Dou	-	Sol	Cav
66	<i>Megachile</i> (<i>Chrysosarus</i>) sp. 3		1					1	Sin	-	Sol	Cav
67	<i>Megachile</i> (<i>Chrysosarus</i>) sp. 4			2				2	Uni	-	Sol	Cav

68	<i>Megachile (Chrysosarus) sp. 5</i>			1				1	Sin	-	Sol	Cav
69	<i>Megachile (Chrysosarus) sp. 6</i>		1					1	Sin	-	Sol	Cav
70	<i>Megachile (Chrysosarus) sp. 7</i>					1		1	Sin	-	Sol	Cav
71	<i>Megachile (Eutricharaea) pusilla Pérez</i>			2		2	2	6		ND	Sol	Cav
72	<i>Megachile (Leptorachis) sp. 1</i>					1		1	Sin	-	Sol	Cav
73	<i>Megachile (Leptorachis) sp. 2</i>				1	2	1	4		ND	Sol	Cav
74	<i>Megachile (Moureapis) sp. 1</i>						1	1	Sin	-	Sol	Cav
75	<i>Megachile (Neochelynia) sp. 1</i>						1	1	Sin	-	Sol	Cav
76	<i>Megachile (Pseudocentron) gomphrenoides</i> Vachal		1		1		1	3		ND	Sol	Cav
77	<i>Megachile (Pseudocentron) curvipes</i> Smith					3		3	Uni	-	Sol	Cav
78	<i>Megachile (Ptilosaroides) sp. 1</i>			1				1	Sin	-	Sol	-
79	<i>Megachile (Sayapis) cillindrica</i> Friese			1	1			2	Dou	-	Sol	Cav
ABUNDANCIA		583	1429	772	889	922	689	5284	70*			
RIQUEZA REGISTRADA		17	36	40	41	43	42	79	37**			
RIQUEZA ACUMULADA PORCENTUAL		21,52	45,57	64,56	78,48	91,13	100					

* Abundancia de especies raras ** riqueza de especies raras

Figura 2.1. Valores de Dominancia Relativa (DR) de las especies dominantes (DR > 5%) observadas durante las temporadas 2015-2016 y 2016-2017 en bordes de cultivo del Cinturón Hortícola Platense. Referencias: A, figura en donde se incluye a la especie más abundante en el estudio (*Apis mellifera*) para calcular la dominancia relativa de las especies de abejas comunes; B, figura excluyendo a la especie *A. mellifera*. Los valores obtenidos de DR para cada especie de abeja fueron colocados a la derecha de cada barra a fin de facilitar su comparación. Las barras azules se corresponden a especies de la familia Apidae y las barras verdes a las correspondientes a la familia Halictidae.



ápidos pasaron de ser especies comunes no dominantes a dominantes (*Ceratina rupestris* y *Melissodes tintinnans*; Figura 2.1) y dos especies de halictidos estuvieron cerca del valor umbral de dominancia con valores de 4,62 y 4,58 (*Augochlora amphitrite* y *Augochloropsis tupacamaru* respectivamente).

Las especies de abejas agrupadas en la categoría de “raras” sumaron un total de 37 (46,84% de las especies registradas) y representaron una abundancia observada de 70

individuos (1,32% del total de observaciones; Tabla 2.1). Las mismas fueron clasificadas en 21 singletons, seis doubletons, cuatro uniques y seis duplicates (Tabla 2.1), y fueron registradas en las cinco familias estudiadas en diferentes proporciones. Las familias Colletidae y Megachilidae presentaron los mayores números de especies raras con respecto a las especies registradas para cada familia (proporción de 1 para Colletidae y 0,76 para Megachilidae), mientras que las familias Apidae, Andrenidae y Halictidae, presentaron más especies comunes que raras (proporciones 0,3, 0,25 y 0,23 respectivamente).

El análisis de la variación temporal de las abejas durante el período de vuelo (fenología) arrojó que el número de especies registradas fue menor durante la primavera temprana y media, con una riqueza acumulada entre ambos períodos cercana al 50% de las especies totales registradas (Tabla 2.1). La mayor riqueza de especies registradas fue observada durante el verano medio ($S = 43$), sumando una riqueza acumulada del 91,13% (Tabla 2.1). Los patrones de fenología observados entre las familias de abejas presentaron picos de riqueza que variaron considerablemente desde fines de septiembre hasta fines de marzo (Figura 2.2). La familia Halictidae presentó dos picos de riqueza durante la primavera media y el verano medio ($S=21$ y $S=17$ respectivamente; Figura 2.2), siendo superada por la familia Apidae durante la primavera tardía momento en que se registró la mayor riqueza de esta última ($S=15$; Tabla 2.1). Por su parte las familias Andrenidae y Colletidae presentaron su mayor riqueza durante el verano temprano mientras que la familia Megachilidae fue observada durante el verano tardío (Figura 2.2).

Las especies registradas fueron clasificadas según su hábito social en abejas solitarias ($n = 54$), sociales ($n = 10$), cleptoparásitas ($n = 5$) y sin información disponible ($n = 10$) de acuerdo con la información disponible (Tabla 2.1). Las especies cleptoparásitas fueron registradas en mayor medida en la familia Apidae ($n = 3$) mientras que también fueron observadas para las familias Halictidae y Megachilidae (ambas con una especie respectivamente; Tabla 2.1). Los sitios de nidificación utilizados por cada especie fueron similares. Se registraron 38 especies que nidifican sobre el suelo, en cavidades preexistentes o creadas por ellas mismas y 35 que utilizan el suelo como sustrato de nidificación. Se excluyeron del análisis a las especies cleptoparásitas que utilizan los nidos y las celdas de crías construidas por las especies huéspedes (Tabla 2.1). Entre las especies que construyen sus nidos sobre el suelo el 60,5% de ellas pertenecieron a la familia Megachilidae ($S = 23$ especies).

Durante el primer año de estudio (temporada 2015-2016) se registraron 56 especies de abejas representando el 70,9% del total observada con seis de las ocho especies observadas para los andrénidos, 11/20 para los ápidos, 3/4 para los colétidos, 21/22 para los Halíctidos y 15/25 para los Megaquílicos (Tabla 2.2). El aumento del número de sitios durante la segunda temporada (un CMO y tres CMT) aportó siete nuevas especies de abejas (8,9% del total de especies) que no fueron registradas en los otros sitios, siendo dos de ellas de la familia Apidae (*Chalepogenus muelleri* y *Xylocopa macrops*), una de la familia Halictidae (*Ruizantheda divaricata*) y cuatro especies de la familia Megachilidae (Hypanthidioides (*Ctenanthidium*) *gracilis* (Urban), *Megachile* (*Acentron*) sp. 1, *Megachile* (*Chrysosarus*) sp. 2 y *Megachile* (*Chrysosarus*) sp. 4 (Tabla 2.2). A pesar de la variación en la composición de la apifauna presente en los bordes de cultivo de cada establecimiento, se observaron ocho especies de abejas presentes en todos los sitios, siete observadas en siete de los establecimientos y tres presentes en seis de ellos (Tabla 2.2). En todos los casos las abejas pertenecieron a las familias Apidae y Halictidae, con seis especies para la primera familia y 12 para la segunda.

Figura 2.2. Fenología de las especies de abejas registradas en los bordes de cultivos del Cinturón Hortícola Platense para las familias Andrenidae, Apidae, Colletidae, Halictidae y Megachilidae, durante las temporadas 2015-2016 y 2016-2017. Referencias: Período de muestreo: abarca los meses en donde se realizaron los estudios y fue dividido en Primavera temprana (desde el 21-IX hasta el 21-X), Primavera media (desde el 22-X hasta el 21-XI), Primavera tardía (desde el 22-XI hasta el 21-XII), Verano temprano (desde el 22-XII hasta el 21-I), Verano medio (desde el 22-I hasta el 22-II) y Verano tardío (desde el 22-II hasta el 21-III).

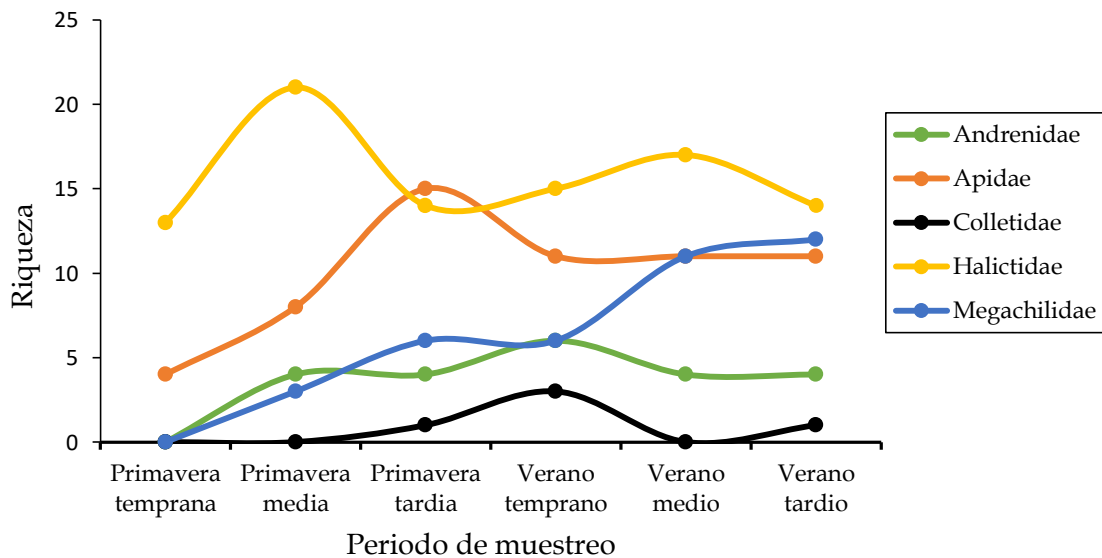


Tabla 2.2. Listado de la riqueza de abejas registradas en bordes de cultivos para cada sitio de muestreo durante las temporadas 2015-2016 y 2016-2017. Referencias: * especies observadas en la temporada 2015-2016; ** especies observadas en la temporada 2016-2017; ▪ especies observadas en ambas temporadas. Abreviaturas: CMO: cultivos en establecimientos con manejo orgánico, CMC: cultivos en establecimientos con manejo convencional, CMT: cultivos en establecimientos con manejo en transición agroecológica. (): indican el subgénero de la especie de abeja.

FAMILIA Especies/morfespecies	ESTABLECIMIENTOS							
	CMO 1	CMO 2	CMO 3	CMC 1	CMC 2	CMT 1	CMT 2	CMT 3
ANDRENIDAE								
<i>Anthrenoides</i> sp. 1		X*			X**	X**		X**
<i>Anthrenoides</i> sp. 2	X*	X**						
<i>Parapsaenythia serripes</i> (Ducke)		X**					X**	X**
<i>Psaenythia</i> sp. 1		X▪				X**	X**	
<i>Psaenythia</i> sp. 2		X**				X**	X**	X**
<i>Psaenythia</i> sp. 3		X**		X*	X**	X**		
<i>Psaenythia</i> sp. 4	X*	X**		X▪	X▪	X**		
<i>Rophitulus</i> sp. 1	X*							
APIDAE								
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus	X▪	X▪	X**	X▪	X▪	X**	X**	X**
<i>Bombus (Fervidobombus) bellicosus</i> Smith		X**		X**	X**			
<i>Bombus (Fervidobombus) pauloensis</i> Friese	X▪	X▪	X**	X▪	X▪	X**	X**	X**
<i>Brachynomada</i> sp. 1		X**				X**	X**	

<i>Ceratina (Rhysoceratina) pusilla</i> Roig-Alsina		X**					X**	
<i>Ceratina (Crewella) rupestris</i> Holmberg	X*	X▪	X**	X▪	X▪	X**	X**	X**
<i>Chalepogenus muelleri</i> (Friese)						X**		
<i>Chalepogenus roitmani</i> Roig-Alsina		X**				X**		
<i>Epeolus (Trophocleptria) variolosa</i> (Holmberg)	X*							
<i>Gaesischia</i> sp. 1		X*						
<i>Melissodes (Ecleptica) tintinnans</i> (Holmberg)	X▪	X▪	X**	X▪	X▪	X**	X**	X**
<i>Melissoptila bonaerensis</i> Holmberg	X▪	X*	X**	X*	X▪		X**	X**
<i>Melissoptila desiderata</i> (Holmberg)		X▪						
<i>Osirinus</i> sp. 1		X**						
<i>Thygater (Thygater) analis</i> (Lepelletier)	X*			X*	X*		X**	X**
<i>Xylocopa (Stenoxycopa) artifex</i> Smith	X*			X▪	X**	X**		X**
<i>Xylocopa (Neoxycopa) augusti</i> Lepelletier	X*	X▪	X**	X▪	X▪	X**	X**	
<i>Xylocopa (Nanoxycopa) ciliata</i> Burmeister		X**	X**	X**				
<i>Xylocopa (Schonnerria) macrops</i> Lepelletier						X**		
<i>Xylocopa (Schonnerria) splendidula</i> Lepelletier		X**	X**		X**	X**		
COLLETIDAE								
<i>Colletes</i> sp. 1				X▪				
<i>Hylaeus (Spatulariella) punctatus</i> (Brullé)				X*				
<i>Hylaeus</i> sp. 1				X*				
<i>Hylaeus</i> sp. 2					X**			

HALICTIDAE

<i>Augochlora (Augochlora) amphitrite</i> (Schrottky)	X*		X**	X▪	X▪	X**		X**
<i>Augochlora (Oxystoglossella) iphigenia</i> Holmberg	X▪	X▪	X**	X▪	X▪	X**	X**	X**
<i>Augochlora (Augochlora) phoemonoe</i> (Schrottky)	X*			X▪	X*			
<i>Augochlorella ephyra</i> (Schrottky)	X▪	X**			X**			
<i>Augochloropsis berenice</i> (Smith)	X▪	X▪	X**		X▪	X**	X**	X**
<i>Augochloropsis euterpe</i> (Holmberg)	X*	X▪	X**		X▪	X**	X**	X**
<i>Augochloropsis multiplex</i> (Vachal)	X▪	X▪	X**	X*	X*	X**	X**	X**
<i>Augochloropsis pomona</i> (Holmberg)	X*	X**	X**	X**	X▪		X**	
<i>Augochloropsis tupacamaru</i> (Holmberg)	X▪	X▪	X**	X*	X▪	X**	X**	X**
<i>Halictillus amplilobus</i> González-Vaquero		X▪						
<i>Lasioglossum (Dialictus) hualitchu</i> (Holmberg)	X▪	X▪	X**	X▪	X▪		X**	X**
<i>Lasioglossum (Dialictus) sp. 1</i>		X*						
<i>Lasioglossum (Dialictus) sp. 2</i>	X▪	X*	X**	X*	X▪	X**		X**
<i>Lasioglossum (Dialictus) sp. 3</i>	X▪	X▪		X▪	X▪	X**	X**	X**
<i>Lasioglossum (Dialictus) sp. 4</i>	X*	X▪	X**		X*	X**	X**	
<i>Lasioglossum (Dialictus) sp. 5</i>		X*		X*	X▪			X**
<i>Lasioglossum (Dialictus) tinguirica</i> (Holmberg)	X*	X▪	X**	X▪	X▪	X**	X**	X**
<i>Paroxystoglossa barbata</i> Moure	X*							
<i>Pseudagapostemon (Pseudagapostemon) olivaceosplendens</i> (Strand)		X*		X*	X▪		X**	X**

<i>Pseudagapostemon (Neagapostemon) puelchanus</i> (Holmberg)		X*					X**	
<i>Ruizantheda divaricata</i> (Vachal)							X**	
<i>Temnosoma</i> sp. 1				X*	X**			
MEGACHILIDAE								
<i>Anthodioctes (Anthodioctes) megachiloides</i> Holmberg					X**			X**
<i>Coelioxys</i> sp. 1	X*				X**			
<i>Hypanthidioides (Ctenanthidium) gracilis</i> (Urban)						X**		
<i>Hypanthidioides (Ctenanthidium) bifasciata</i> (Urban)				X*				
<i>Epanthidium bicoloratum</i> (Smith)			X**		X**		X**	
<i>Megachile (Acentron)</i> sp. 1			X**					
<i>Megachile (Austromegachile) susurrans</i> Haliday				X*				
<i>Megachile (Chalepochile)</i> sp. 1					X*			
<i>Megachile (Chrysosarus) jenseni</i> (Friese)	X**				X*			
<i>Megachile (Chrysosarus)</i> sp. 1				X**				
<i>Megachile (Chrysosarus)</i> sp. 2			X**					
<i>Megachile (Chrysosarus)</i> sp. 3					X*			
<i>Megachile (Chrysosarus)</i> sp. 4			X**					
<i>Megachile (Chrysosarus)</i> sp. 5				X*				
<i>Megachile (Chrysosarus)</i> sp. 6	X*							

<i>Megachile (Chrysosarus) sp. 7</i>				X*				
<i>Megachile (Eutricharaea) pusilla</i> Pérez	X*		X**	X*	X*			
<i>Megachile (Leptorachis) sp. 1</i>				X*				
<i>Megachile (Leptorachis) sp. 2</i>		X*	X**		X*	X**		
<i>Megachile (Moureapis) sp. 1</i>					X*			
<i>Megachile (Neochelynia) sp. 1</i>		X**						
<i>Megachile (Pseudocentron) gomphrenoides</i> Vachal		X**	X**			X**		
<i>Megachile (Pseudocentron) curvipes</i> Smith	X*				X*			
<i>Megachile (Ptilosaroides) sp. 1</i>				X**				
<i>Megachile (Sayapis) cillindrica</i> Friese			X**		X*			
RIQUEZA REGISTRADA	32	42	27	36	42	29	26	23

La diversidad de abejas registrada durante el estudio varió entre los establecimientos y entre las temporadas (Tabla 2.3), a pesar de ello, el análisis estadístico al incluir ambas temporadas arrojó que si bien se encontraron diferencias entre la diversidad entre los distintos manejos agrícolas, las mismas no fueron significativas ($\chi^2 = 3,69$; gl.= 2; $p = 0,158$). Durante la temporada 2015-2016 los establecimientos orgánicos presentaron los mayores valores de diversidad ($H' = 2,272$ y $H' = 1,572$ para CMO 1 y CMO 2 respectivamente), equidad (CMO 1: $J = 0,662$; CMO 2: $J = 0,483$) y los menores valores de dominancia (CMO 1: $1-D = 0,804$; CMO 2: $1-D = 0,575$; Tabla 2.3). Sin embargo, la mayor riqueza fue registrada en el establecimiento convencional CMC 2 con 32 especies de abejas, y dicho sitio presentó los menores índices de H, J y 1-D. Al observar la diversidad verdadera (números efectivos de especies), el establecimiento CMO 1 presentó al menos el doble de diversidad que el resto de los establecimientos ($S' = 10$; Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Valores de diversidad de abejas registradas en bordes de cultivos del Cinturón Hortícola Platense en las temporadas 2015-2016 y 2016-2017 calculados para cada establecimiento. Los valores extremos (mínimos y máximos) de cada parámetro en cada temporada fueron subrayados. Referencias: CMO: cultivos en establecimientos con manejo orgánico, CMC: cultivos en establecimientos con manejo convencional, CMT: cultivos en establecimientos con manejo en transición agroecológica; Censos: número de días muestreados; n: número de individuos registrados en cada establecimiento; *A. mellifera*: solo individuos de *Apis mellifera* registrados; Pi: individuos de especies silvestres/individuos de *A. mellifera*; S: número de especies; H': índice de Shannon; S': números efectivos; J: índice de equidad; 1-D: índice de Simpson.

Temporada	Sitio	Censos	n	<i>A. mellifera</i>	Pi	S	H'	S'	J	1-D
2015-2016	CMO 1	6	<u>282</u>	<u>108</u>	<u>1,611</u>	31	<u>2,272</u>	<u>10</u>	<u>0,662</u>	<u>0,804</u>
	CMO 2	10	<u>1269</u>	<u>814</u>	0,559	<u>26</u>	1,572	5	0,483	0,575
	CMC 1	8	430	287	0,498	30	1,476	4	0,434	0,540
	CMC 2	7	594	424	<u>0,401</u>	<u>32</u>	<u>1,342</u>	<u>4</u>	<u>0,387</u>	<u>0,479</u>
2016-2017	CMO 1	3	<u>57</u>	<u>25</u>	1,280	<u>13</u>	1,873	6	0,730	0,754
	CMO 2	5	<u>546</u>	<u>403</u>	<u>0,355</u>	<u>33</u>	1,321	4	<u>0,378</u>	<u>0,449</u>
	CMO 3	5	361	231	0,563	27	1,507	4	0,457	0,568
	CMC 1	6	255	182	0,401	20	<u>1,255</u>	<u>3</u>	0,419	0,477
	CMC 2	5	375	249	0,506	29	1,502	5	0,446	0,544
	CMT 1	5	433	316	0,370	29	1,307	4	0,388	0,458
	CMT 2	5	247	39	<u>5,333</u>	26	<u>2,581</u>	<u>13</u>	<u>0,792</u>	<u>0,882</u>
	CMT 3	4	435	168	1,590	23	1,618	5	0,516	0,678

Durante la segunda temporada 2016-2017, el establecimiento CMT 2 presentó el mayor valor de diversidad ($H' = 2,581$), de equidad ($J = 0,792$) y el menor valor de dominancia ($1-D = 0,882$), además de presentar una diversidad verdadera de dos a tres veces superior que el resto de los establecimientos (Tabla 2.3). Sin embargo, el establecimiento CMO 2 presentó el mayor número de especies registradas con 33 taxones, siendo el valor más alto registrado además para ambas temporadas (Tabla 2.3). Finalmente, la proporción entre individuos de especies silvestres y *A. mellifera* (Pi) ubicó al establecimiento CMO 1 como el de mayor relación durante la temporada 2015-2016, mientras que el establecimiento CMT 2 ocupó su lugar durante la siguiente temporada (Tabla 2.3).

Los patrones de diversidad antes mencionados, pueden verse reflejados en los perfiles de rango abundancia (Figura 2.3) donde se observa para la temporada 2015-2016 al establecimiento CMO 1 como aquel que presentó una dominancia baja de la especie *A. mellifera* ($n = 108$) al representar el 38,3% de los individuos registrados; mientras que durante la temporada 2016-2017, este lugar lo ocupó el establecimiento CMT 2 con la especie *Melissodes tintinnans* como la especie más dominante ($n = 62$, 25% de los individuos totales). La especie *A. mellifera* fue la especie más abundante en los bordes de cultivos en todos los establecimientos durante la primera temporada, mientras que durante la temporada 2016-2017 su abundancia fue superada en dos establecimientos por *M. tintinnans* (CMT 2) y *B. pauloensis* (CMT 3).

La comparación de la riqueza de abejas en los establecimientos fue llevada a cabo a través de las curvas de rarefacción y donde la mayoría de ellas tuvieron una leve tendencia a alcanzar la asíntota (Figuras 2.4 y 2.5), excepto los establecimientos CMC 1, CMC 2 y CMO 1 en donde se observa que el número de individuos registrados no alcanzaron para llegar a las asíntotas de dichas curvas (Figuras 2.4 B). Durante la temporada 2015-2016, el establecimiento CMO 2 alcanzó la asíntota en la riqueza de especies registradas teniendo en cuenta tanto el número de individuos registrados como el número de muestreos realizados (Figuras 2.4 A y B). Por otro lado, se observaron durante la misma temporada, que el establecimiento CMO 1 presentó las mayores pendientes de crecimiento de las curvas teniendo en cuenta tanto el número de muestreos realizados como el número de individuos registrados, registrando riquezas por encima del resto de los establecimientos al interpolar los valores (Figura 2.4). Por el contrario, el menor número de especies fue registrado para el establecimiento CMO 2 a pesar de que fue el sitio en donde más muestreos fueron llevados a cabo y en donde se registraron el mayor número de individuos (Tabla 2.3).

Figura 2.3. Perfiles de rango-abundancia de las especies de abejas registradas en bordes de cultivos del Cinturón Hortícola Platense para cada establecimiento estudiado. La figura A pertenece a los valores obtenidos durante la temporada 2015-2016, mientras que la figura B a la temporada 2016-2017. Valores de diversidad de abejas calculados para cada establecimiento. Referencias: CMO: cultivos en establecimientos con manejo orgánico, CMC: cultivos en establecimientos con manejo convencional, CMT: cultivos en establecimientos con manejo en transición agroecológica. Especies: 1, *Apis mellifera*; 2, *Lasioglossum hualitchu*; 3, *Augochlora iphigenia*; 4, *Augochlora phoemonoe*; 5, *Augochlora amphitrite*; 6, *Ceratina rupestris*; 7, *Bombus pauloensis*; 8, *Melissoptila bonaerensis*; 9, *Augochloropsis tupacamaru*; 10, *Augochloropsis multiplex*; 11, *Melissodes tintinnans*; 12, *Augochloropsis euterpe*; 13, *Lasioglossum* sp3.

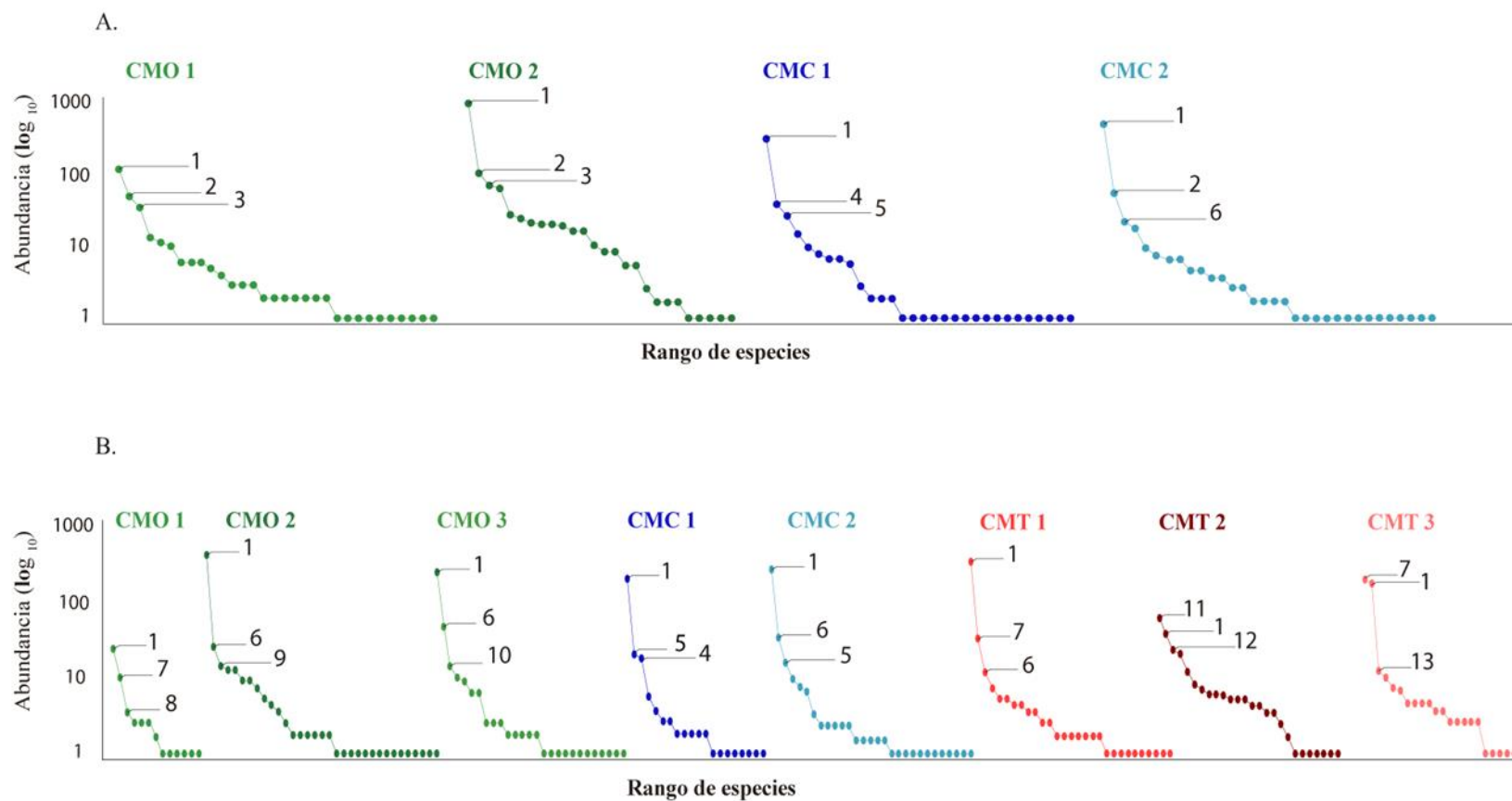
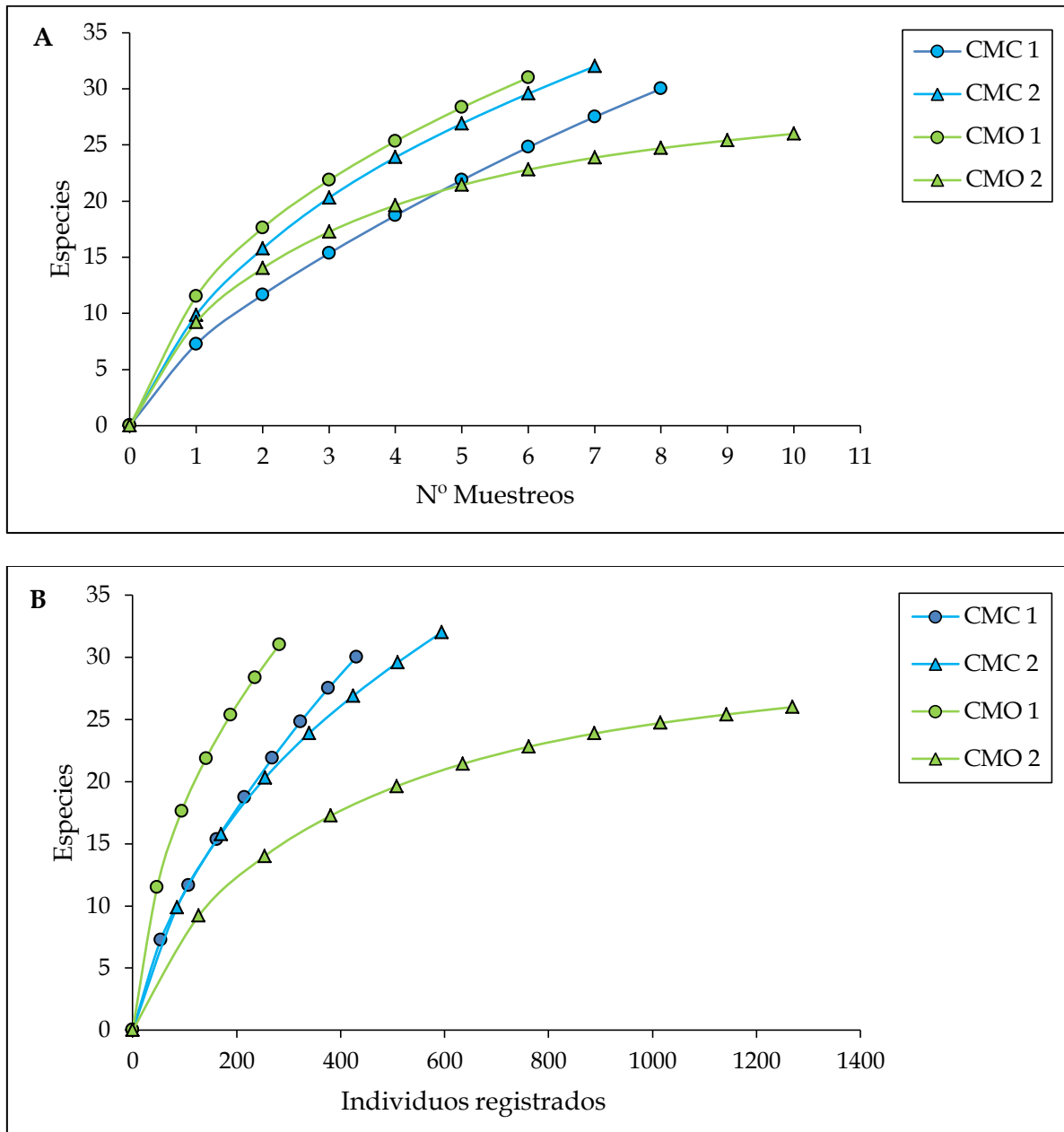


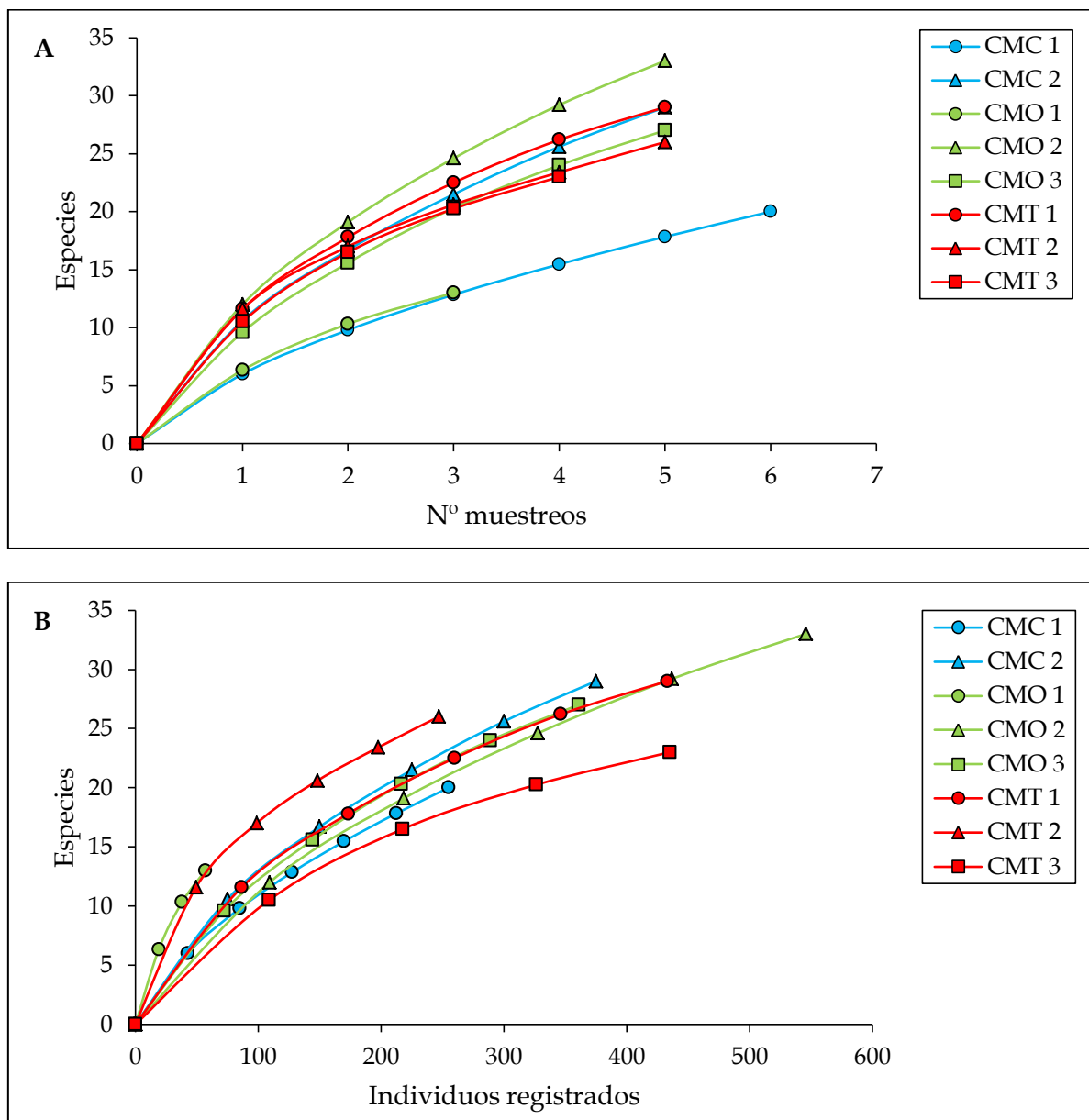
Figura 2.4. Temporada 2015-2016. Referencias: A, curvas de rarefacción construidas a partir del número de muestreo realizados; B, curvas de rarefacción construidas a partir del número de individuos registrados en establecimientos del cinturón Hortícola Platense. Referencias: CMC: cultivos en establecimientos con manejo convencional, CMO: cultivos en establecimientos con manejo orgánico.



Durante la temporada 2016-2017, el patrón difiere del observado previamente, con el establecimiento CMO 2 alcanzando el mayor número de especies registradas y con los establecimientos CMO 1 y CMC 1 con las menores velocidades de crecimiento de las curvas en relación con el número de muestreos (Figura 2.5 A). Las curvas de rarefacción calculadas para CMO 1 y CMT 2 a partir del número de individuos

registrados, indican que en dichos establecimientos se observaron las mayores velocidades de crecimiento, y que en el establecimiento CMT 2 dicha tendencia se mantuvo por encima del resto de los establecimientos, registrándose un mayor número de especies observadas con un menor número de abejas (Figura 2.5 B).

Figura 2.5. Temporada 2016-2017. Referencias: A, curvas de rarefacción construidas a partir del número de muestreo realizados; B, curvas de rarefacción construidas a partir del número de individuos registrados en establecimientos del cinturón Hortícola Platense. Referencias: CMC: cultivos en establecimientos con manejo convencional, CMO: cultivos en establecimientos con manejo orgánico, CMT: cultivos en establecimientos con manejo en transición agroecológica.



Durante la temporada 2015-2016, las estimaciones de completitud basados en los estimadores de riqueza presentaron en total un 68,75% de completitud por encima del 50% del número de especies registradas, con un máximo de 86,21% calculado para el establecimiento CMO 2. Durante la siguiente temporada (2016-2017) se registró una mayor completitud alcanzando el 78,12% de los casos en donde se alcanzó el 50% del valor de la riqueza estimada (Tabla 2.4), cuyo máximo valor fue de 84,96% para el establecimiento CMT 3. En particular los estimadores no paramétricos basados en abundancia (Chao1 y ACE) arrojaron una mayor completitud de los inventarios para el establecimiento orgánico CMO 2 durante la primera temporada, mientras que para la segunda lo hicieron para los establecimientos CMT 1 y CMT 3 (Tabla 2.4). Por otro lado, los estimadores basados en la incidencia de las especies (Chao2 e ICE) arrojaron los mayores valores de completitud para CMO 1 durante la temporada 2015-2016, mientras que durante la temporada 2016-2017, nuevamente arrojaron los mayores valores para los establecimientos CMT 1 y CMT 2 (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Valores de los estimadores no paramétricos calculados a partir de abundancia (Chao1, ACE) e incidencia (Cha2, ICE) de las especies de abejas registradas en bordes de cultivos de cada establecimiento en el cinturón Hortícola Platense durante las temporadas 2015-2016 y 2016-2017. Los valores máximos de completitud para cada estimador en cada temporada fueron subrayados. Referencias. Sobs: riqueza observada; estimadores: valor de los estimadores no paramétricos calculados a partir de 100 aleatorizaciones de los datos, entre paréntesis figura el valor de completitud porcentual calculado para cada estimador. Referencias: CMO: cultivos en establecimientos con manejo orgánico, CMC: cultivos en establecimientos con manejo convencional, CMT: cultivos en establecimientos con manejo en transición agroecológica.

Temporada	Sitios	Sobs	Estimadores basados en abundancia		Estimadores basados en incidencia	
			Chao1	ACE	Chao 2	ICE
2015-2016	CMO 1	31	38,12 (81,32)	39,66 (78,16)	52,33 (<u>59,24</u>)	53,85 (<u>57,57</u>)
	CMO 2	26	30,16 (<u>86,21</u>)	31,47 (<u>82,62</u>)	78,05 (33,31)	74,24 (35,02)
	CMC 1	30	78,05 (38,44)	74,24 (41,53)	59,17 (50,70)	91,24 (32,88)
	CMC 2	32	56,46 (56,68)	51,04 (62,70)	56,77 (56,37)	58,87 (54,36)
2016-2017	CMO 1	13	30,68 (42,37)	19,72 (65,92)	18,33 (70,92)	26,69(48,71)
	CMO 2	33	51,72 (63,81)	55,70 (59,25)	51,05 (64,64)	66,18 (49,86)
	CMO 3	27	41,36 (65,28)	39,63 (68,13)	39,86 (67,74)	50,93 (53,01)
	CMC 1	20	26,37 (75,84)	28,04 (71,33)	43,47 (46,01)	49,88 (40,10)
	CMC 2	29	43,36 (66,88)	39,04 (74,28)	45,51 (63,72)	60,46 (47,97)

	CMT 1	29	36,13 (80,27)	37,06 (78,25)	37,71 (76,90)	48,08 (60,32)
	CMT 2	26	50,40 (51,59)	33,64 (77,29)	59,80 (43,48)	42,63 (60,99)
	CMT 3	23	37,97(60,57)	27,07 (84,96)	30,56 (75,26)	35,21 (65,32)

Las abejas fueron observadas forrajeando sobre 90 especies/morfoespecies de plantas, agrupadas en 26 familias (Tabla 2.5). Las familias vegetales con mayores números de especies visitadas por las abejas fueron Asteraceae, Fabaceae y Solanaceae, con 34, 10 y ocho especies respectivamente. Las especies de plantas con mayores registros de especies de abejas fueron: *Carduus acanthoides* L. (Asteraceae) (n=34 especies de abejas), *Matricaria chamomilla* L. (Asteraceae) (n=29), *Picris echioides* L. (Asteraceae) (n=26), *Rapistrum rugosum* (L.) All. (Brassicaceae) (n=21), *Cichorium intybus* L. (Asteraceae) (n=17), *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. (Asteraceae) (n=16), *Lotus glaber* L. (Fabaceae) (n=16), *Convolvulus arvensis* L. (Convolvulaceae) (n=15), *Echium vulgare* L. (Boraginaceae) (n=15), *Trifolium repens* L. (Fabaceae) (n=15), *Senecio aff. pampeanus* (Asteraceae) (n=14), *Solidago chilensis* Meyen (Asteraceae) (n=14), *Brassica rapa* L. (Brassicaceae) (n=14), *Verbena montevidensis* Spreng. (Verbenaceae) (n=12), *Crepis setosa* Hallier f. (Asteraceae) (n=12), *Solanum pygmaeum* Cav. (Solanaceae) (n=10), *Solanum sisymbriifolium* Lam. (Solanaceae) (n=10).

Tabla 2.5. Listado de las especies de plantas utilizadas como fuente de alimento por las especies de abejas recolectadas forrajeando sobre las mismas, en bordes de cultivos del Cinturón Hortícola Platense durante las temporadas 2015-2016 y 2016-2017. El número de especies/morfoespecies de abejas se corresponden a la columna ID de la Tabla 1. También se indica el estatus de cada especie: nativa, exótica, introducida, naturalizada y/o cultivada.

ID	FAMILIA Especies/morfespecies	Origen de la especie vegetal (Status)	Especies/morfoespecies de abejas
AMARANTHACEAE			
1	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	Nativa	9, 41, 43
APIACEAE			
2	<i>Conium maculatum</i> L.	Introducida	43, 79
3	<i>Eryngium</i> sp. 1	Nativa	9
APOCYNACEAE			

4	<i>Araujia sericifera</i> Brot.	Nativa	9, 33, 35
5	<i>Oxypetalum solanoides</i> Hook. & Arn.	Nativa	5, 9, 16
ASTERACEAE			
6	<i>Acmella</i> sp. 1	-	19, 37
7	<i>Anthemis cotula</i> L.	Introducida / cultivada	43, 68
8	Asteraceae sp. 1	-	34, 43
9	Asteraceae sp. 2	-	9, 14, 19, 34, 37, 42, 43, 46, 47
10	Asteraceae sp. 3	-	41, 46
11	Asteraceae sp. 4	-	33
12	Asteraceae sp. 5	-	37
13	Asteraceae sp. 6	-	14, 43
14	Asteraceae sp. 7	-	47
15	Asteraceae sp. 8	-	10
16	Asteraceae sp. 9	-	41
17	Asteraceae sp. 10	-	14, 73
18	Asteraceae sp. 11	-	34
19	<i>Baccharis</i> sp. 1	-	9, 19
20	<i>Baccharis</i> sp. 2	-	9, 14, 19, 34, 38, 40, 41, 54, 60
21	<i>Baccharis</i> sp. 3	-	9, 37, 41
22	<i>Baccharis</i> sp. 4	-	33, 35
23	<i>Baccharis</i> sp. 5	-	9, 20
24	<i>Bidens pilosa</i> L.	Nativa	6, 7, 9, 11, 14, 33
25	<i>Bidens</i> sp. 1	-	9, 10, 11, 33, 34
26	<i>Carduus acanthoides</i> L.	Introducida/Naturalizada	5, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 19, 20, 21, 24, 28, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 45, 46, 47, 49, 51, 52, 56, 59, 62, 70, 73, 76

27	<i>Centaurea solstitialis</i> L.	Introducida/Naturalizada	12, 14, 34, 43, 46
28	<i>Cichorium intybus</i> L.	Introducida/Naturalizada	9, 11, 14, 19, 20, 23, 33, 34, 35, 38, 43, 45, 46, 48, 49, 51, 76
29	<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.	Introducida/Naturalizada	9, 11, 14, 19, 21, 28, 31, 33, 34, 35, 37, 43, 45, 48, 59, 77
30	<i>Crepis setosa</i> Hallier f.	Introducida/Naturalizada	1, 9, 14, 34, 37, 38, 40, 41, 43, 46, 47, 48
31	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	Introducida	4, 15
32	<i>Lessingianthus rubricaulis</i> (Bonpl.) H. Rob.	Nativa	9, 14, 18, 34, 37, 43
33	<i>Matricaria chamomilla</i> L.	Introducida/ Naturalizada/cultivada	1, 2, 4, 9, 10, 11, 13, 14, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 53, 66, 69
34	<i>Picris echioides</i> L.	Introducida/naturalizada	4, 6, 9, 10, 14, 15, 19, 20, 33, 34, 35, 37, 38, 41, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 51, 58, 63, 64, 72, 73
35	<i>Senecio pampeanus</i> Cabrera	Nativa	9, 10, 11, 13, 14, 26, 33, 34, 38, 39, 40, 41, 43, 76
36	<i>Senecio</i> sp. 1	-	35
37	<i>Solidago chilensis</i> Meyen	Nativa	9, 13, 14, 20, 28, 33, 34, 35, 37, 38, 41, 43, 54, 61
38	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Introducida	9, 25, 33, 34, 35, 40, 43, 46, 49
39	<i>Taraxacum officinale</i> L.	Introducida/Naturalizada	9, 14, 34, 35, 39, 43
BORAGINACEAE			
40	<i>Borago officinalis</i> L.	Introducida/Naturalizada	9
41	<i>Echium vulgare</i> L.	Introducida/Naturalizada	1, 5, 9, 11, 13, 14, 19, 28, 33, 34, 36, 43, 45, 46, 48
BRASSICACEAE			
42	<i>Brassica rapa</i> L.	Introducida/Naturalizada	9, 14, 34, 37, 38, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 51
43	<i>Brassica</i> sp. 1	-	9, 34, 39, 43
44	<i>Raphanus sativus</i> L.	Introducida/Naturalizada	9, 19, 25, 49, 51

45	<i>Rapistrum rugosum</i> (L.) All.	Introducida	1, 6, 7, 9, 10, 14, 16, 32, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 46, 47, 48, 49, 57
CAPRIFOLIACEAE			
46	<i>Dipsacus fullonum</i> L.	Introducida/Naturalizada	9, 11, 14, 19, 24, 25, 33, 43
CARYOPHYLLACEAE			
47	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Introducida/Naturalizada	9, 43
COMMELINACEAE			
48	<i>Commelina erecta</i> L.	Nativa	9, 35
CONVOLVULACEAE			
49	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Introducida/naturalizada	1, 7, 9, 14, 19, 30, 33, 34, 35, 36, 43, 45, 46, 47, 48
FABACEAE			
50	<i>Galega officinalis</i> L.	Introducida/naturalizada	4, 9, 10, 11, 27, 41, 43, 71, 73
51	<i>Lotus glaber</i> L.	Introducida/Naturalizada	4, 9, 10, 11, 14, 19, 20, 26, 55, 59, 63, 65, 67, 71, 74, 79
52	<i>Melilotus</i> sp. 1	Introducida/Naturalizada	39
53	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Nativa	25
54	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	Introducida/Naturalizada	9
55	<i>Spartium junceum</i> L.	Introducida/Naturalizada	25
56	<i>Trifolium pratense</i> L.	Introducida/Naturalizada	9, 11, 46
57	<i>Trifolium repens</i> L.	Introducida/Naturalizada	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 19, 26, 41, 45, 55
58	<i>Vicia sativa</i> L.	Introducida/Naturalizada	9
59	<i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth.	Nativa	11, 20
GENTIANACEAE			
60	<i>Centaurium pulchellum</i> (Sw.) Druce	Introducida/Naturalizada	14, 19, 45
GERANIACEAE			
61	<i>Geranium molle</i> L.	Introducida/Naturalizada	14

LAMIACEAE			
62	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	Introducida/Naturalizada	9
63	Lamiaceae sp. 1	-	9
64	<i>Mentha</i> sp. 1	-	6, 9, 20, 43, 45
MALVACEAE			
65	<i>Anoda cristata</i> (L.) Schlttdl.	Nativa	19, 20, 56
66	<i>Pavonia sepium</i> A. St.-Hil.	Nativa	9, 11, 19, 23, 33, 35
67	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Nativa	19, 20, 33, 34, 46
MEIACEAE			
68	<i>Melia azedarach</i> L.	Introducida	25
OLEACEAE			
69	<i>Ligustrum</i> sp. 1	-	9
ONAGRACEAE			
70	<i>Ludwigia bonariensis</i> (Micheli) H. Hara	Nativa	33, 39
OXALIDACEAE			
71	<i>Oxalis articulata</i> Savigny	Nativa	43
PASSIFLORACEAE			
72	<i>Passiflora caerulea</i> L.	Nativa	9, 24, 25
PHYTOLACCACEAE			
73	<i>Phytolacca dioica</i> L.	Nativa	40
PLANTAGINACEAE			
74	<i>Plantago</i> sp. 1	-	36, 39, 45
75	<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L.	Introducida	9, 36, 39, 41, 43, 45, 46, 50
76	<i>Veronica persica</i> Poir.	Introducida	9, 34, 43, 45
PORTULACACEAE			
77	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Introducida/Naturalizada	9, 11, 34, 45
ROSACEAE			

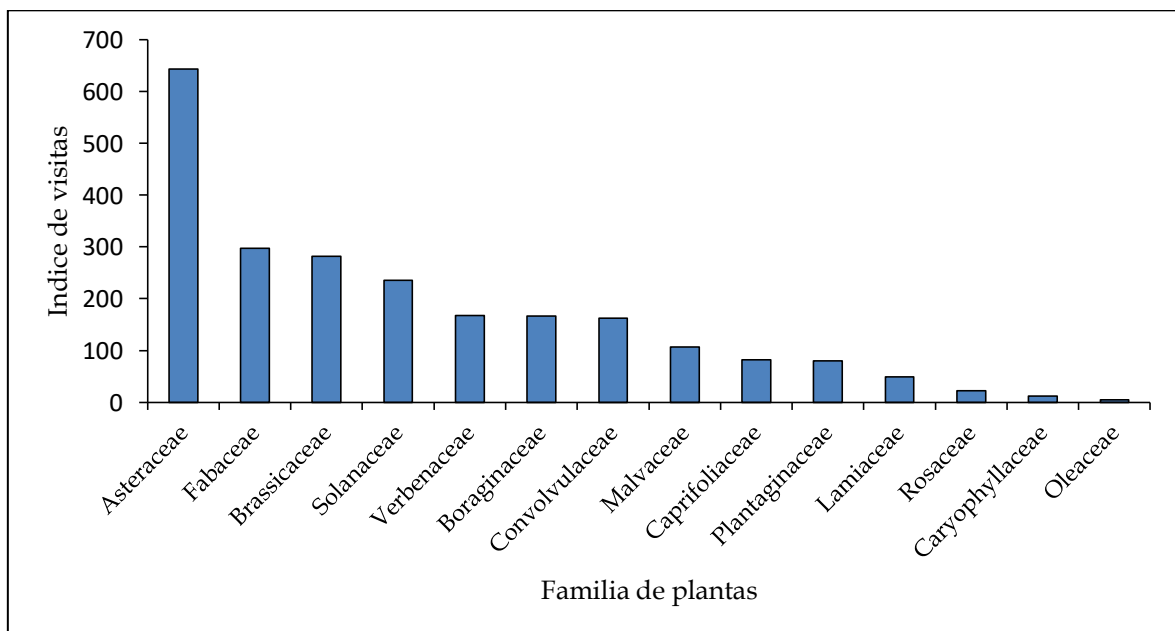
78	<i>Rubus</i> sp. 1	-	9, 71
SOLANACEAE			
79	<i>Jaborosa runcinata</i> Lam.	Nativa	43
80	<i>Physalis viscosa</i> L.	Nativa	29, 38
81	<i>Salpichroa organifolia</i> (Lam.) Baill.	Nativa	9, 11, 23, 49, 51, 78
82	<i>Solanum glaucophyllum</i> Desf.	Nativa	9, 23, 24, 26, 33, 34, 35, 43
83	<i>Solanum pygmaeum</i> Cav.	Nativa	3, 7, 9, 11, 23, 34, 38, 39, 41, 46
84	<i>Solanum sisymbriifolium</i> Lam.	Nativa	3, 9, 11, 19, 23, 37, 38, 39, 41, 49
85	<i>Solanum</i> sp. 1	-	3, 11, 23, 37, 38, 39, 41
86	<i>Solanum</i> sp. 2	-	10, 37, 38, 41
VERBENACEAE			
87	<i>Phyla canescens</i> (Kunth) Greene	Nativa	7, 9, 19, 34, 43
88	<i>Verbena montevidensis</i> Spreng.	Nativa	6, 9, 20, 34, 36, 37, 38, 43, 48, 51, 59, 75
89	<i>Verbena bonariensis</i> L. var. <i>bonariensis</i> L.	Nativa	34, 40, 77
90	<i>Verbena</i> sp. 1	-	9, 37

De las 78 especies de abejas observadas forrajeando sobre las flores, 63 fueron registradas en especies de la familia Asteraceae, es decir, el 80,77% de las especies de abejas recolectadas. Este resultado se ve reflejado en el índice de visitas (Figura 2.6) donde se puede observar que las familias vegetales más utilizadas por las abejas son Asteraceae, seguidas por Fabaceae, Brassicaceae y Solanaceae. La misma conclusión se alcanza si se excluye del análisis a la especie *A. mellifera*, con un cambio en el orden de importancia entre las familias Caprifoliaceae y Plantaginaceae, y la familia Oleaceae no aparece entre las familias de plantas visitadas por abejas nativas.

La especie *A. mellifera* visitó el mayor número de familias de plantas, siendo observada en 20 de ellas, seguida por *Lasioglossum hualitchu* en 14 familias, *M. tintinnans* en 10, y *L. sp.2*, *Augochlora amphitrite* y *A. iphigenia*, cada una en nueve familias vegetales. También es

de destacar que para *A. mellifera* se registraron 55 especies de plantas representando el 61% del total de especies vegetales que recibieron visitas florales, mientras que las especies de halictidos *L. hualitchu* y *A. iphigenia* y el árido *C. rupestris* visitaron 34, 30 y 25 especies de plantas respectivamente (Tabla 2.5). Finalmente, el 82% de las visitas de la abeja *A. mellifera* fueron registrados sobre las familias de plantas Asteraceae (n = 1440), Brassicaceae (n = 713) y Fabaceae (n = 524), mientras que, para el resto de las abejas nativas, el 85% de los individuos fueron registrados sobre Asteraceae (n = 1083), Brassicaceae (n = 229), Solanaceae (n = 168), y Fabaceae (n = 135). Las especies vegetales donde se registraron más individuos de abejas fueron *Carduus acanthoides* (n = 962), *Brassica rapa* (n = 761), *Trifolium repens* (n = 487) y *Matricaria chamomilla* (n = 378), mientras que para *A. mellifera* fueron *Carduus acanthoides* (n = 624), *Brassica rapa* (n = 583) y *Trifolium repens* (n = 415), y para el conjunto de abejas nativas, las especies *Carduus acanthoides* (n = 338), *Matricaria chamomilla* (n = 243) y *Brassica rapa* (n = 178).

Figura 2.6. Ranking de importancia de las principales familias de plantas de bordes de cultivos del Cinturón Hortícola Platense visitadas por las especies de abejas durante las temporadas 2015-2016 y 2016-2017. El índice fue construido a partir de los valores obtenidos de un ranking con las familias de plantas más utilizadas por cada especie de abeja. Dicho ranking fue creado otorgándole 14 puntos a la familia más visitada por la especie de abeja i, 13 puntos a la segunda familia de plantas más visitada por la misma especie i, y así sucesivamente. Finalmente el índice como la suma de los valores para cada familia de plantas obtenidos a partir de cada especie de abeja.



Discusión

La riqueza de abejas observadas en bordes de cultivos del CHP en algunos casos fue mayor a estudios previos realizados en el país en diversos entornos naturales (Michelette & Camargo, 2000; Vázquez *et al.*, 2008; Medan *et al.*, 2002; Dalmazzo, 2010; Torretta *et al.*, 2010; Le Féon *et al.*, 2015; Mazzeo & Torretta, 2015; De Santis & Chacoff, 2020). Entre los trabajos previos realizados donde encontraron una riqueza de abejas superior al del presente estudio pueden citarse los realizados por Jörgensen (1909), Torretta & Poggio (2013) y Ramello *et al.* (2020), donde han observado 229, 115 y 87 especies/morfoespecies de abejas respectivamente. Las diferencias tanto en los géneros como en las especies de abejas entre el presente trabajo y los previamente mencionados, se pueden relacionar entre otros factores a la metodología utilizada para muestrear, a los esfuerzos de muestreo realizados en cada uno de los estudios y por las diferentes regiones abarcadas para la realización de los mismos. Es por ello que al comparar la riqueza del presente trabajo con la registrada previamente para un área natural ribereña cercana al área de estudio (aproximadamente a 20 km según la ubicación del establecimiento tenido en cuenta), se observa que ambos ambientes presentan una gran cantidad de géneros y especies de abejas en común. En particular, las similitudes más notables se observan con las especies de la familia Apidae en donde ambos trabajos presentaron 12 especies en común, seguida por la familia Halictidae que, con 11 especies en común, además de coincidir en las tres familias de abejas más representativas en el área de estudio (Megachilidae, Halictidae y Apidae; Ramello *et al.*, 2020).

El análisis de los períodos de actividad de las especies de abejas determinó que durante el verano medio y tardío se registraron las mayores cantidades de especies en el área de estudio. La actividad de las abejas de las cinco familias fluctuó a lo largo de las temporadas mostrando tendencias unimodales excepto para la familia Halictidae que presentó una tendencia bimodal de riqueza bien marcados. Por otro lado, las familias Andrenidae y Colletidae cuyas especies tienen la particularidad de ser todas solitarias al igual que las especies de la familia Megachilidae (Danforth *et al.*, 2019), estuvieron representadas por pocas especies e individuos, lo cual dificulta establecer picos de actividad propiamente dichos a diferencia de lo que ocurrió con las otras tres familias. Los patrones de actividad observados están relacionados a los ciclos de vida, presencia o ausencia de estructuras sociales y a los períodos de actividad que presentan las diferentes especies (Michener, 2007; Danforth *et al.*, 2019). Aunque la actividad de las especies fue

registrada desde la primavera temprana, el primer aumento de riqueza fue observado durante la primavera media con especies de la familia Halictidae, luego durante la primavera tardía, la mayor riqueza perteneció a la familia Apidae y continuando con el segundo pico de actividad de la familia Halictidae durante el verano medio finalizando en el verano tardío con el mayor número de especies registradas para la familia Megachilidae.

La familia Apidae presentó un número de especies que se mantuvo bajo durante la primavera temprana y media (< 10 especies para ambos períodos), alcanzando el máximo durante la primavera tardía (S = 15), para luego descender y mantenerse constante hasta el fin de la temporada. Al considerar los períodos primavera tardía-verano temprano (desde el 22 de noviembre al 22 de enero) se registraron 18 de las 20 especies de la familia. Estos resultados se correlacionan en gran medida con estudios previos donde se registraron individuos de esta familia, y en particular de la tribu Eucerini (especies de los géneros *Gaesischia*, *Melissodes*, *Melissoptila* y *Thygater*, entre otros) que comienzan su actividad de forrajeo y nidificación entre fines de primavera y comienzos de verano (Dalmazzo, 2010; Cilla *et al.*, 2012; Le Féon, *et al.* 2015).

La familia Halictidae presentó la mayor cantidad de especies durante casi toda la temporada, siendo superada solamente por la familia Apidae durante la primavera tardía momento en que se registró el pico en la riqueza de esta última. Es de destacar que a pesar de que la familia Halictidae presentó dos momentos durante la temporada con un gran número de especies, durante la primavera media fueron observadas casi todas las especies totales registradas a excepción de una única especie cuyo hábito de vida es cleptoparásita (*Temnosoma* sp. 1) y que fue registrada hacia el final de la temporada. Los resultados obtenidos sobre la riqueza de la familia Halictidae concuerdan con observaciones realizadas en diversas áreas del país y donde se observó la importancia de esta familia de abejas en el ensamble de abejas presentes en diferentes ambientes (Torretta & Poggio, 2013; Le Féon *et al.*, 2015; Dalmazzo, 2010; Dalmazzo & Roig-Alsina, 2011; Ramello *et al.*, 2020).

La actividad de la familia Megachilidae también fue similar a lo registrado previamente por otros autores, donde se observó una tendencia de aumento de su actividad para finales del verano (Dalmazzo, 2010; Le Féon *et al.*, 2015). Diversos trabajos han observado que las especies del género *Megachile* presentan períodos de vuelo y construcción de sus nidos entre los meses de diciembre y marzo, y que además pueden variar de un sitio a otro y de una temporada a otra (Torretta & Durante, 2011; Torretta *et*

al., 2014), e incluso algunas especies pueden presentar la emergencia de dos generaciones en la misma temporada (Torretta *et al.*, 2012; Álvarez *et al.*, 2016) con lo cual el período de vuelo puede extenderse a lo largo de toda la temporada, como se ha observado en el presente estudio. Su estrategia de nidificación principal consiste en ocupar cavidades preexistentes en sustratos de origen vegetal, tales como cañas, ramas, varas de floración secas, troncos en descomposición y maderas de diversa índole utilizadas con fines productivos o mobiliarios (cercos, postes de tranqueras, etc.), e incluso algunas especies llegan a nidificar en el suelo (Michener, 2007). La construcción de los nidos es llevado a cabo por las hembras que utilizan sus mandíbulas para cortar y modelar pequeños fragmentos de hojas, pétalos u otros materiales que son colectados por ella, llegando incluso algunas especies a coleccionar y utilizar resinas (Michener, 2007; Danforth *et al.*, 2019).

Las familias Andrenidae y Colletidae pertenecen a grupos con pocos representantes en el área de estudio debido a que sus especies se distribuyen principalmente en ambientes xéricos y templados en Sudamérica y en especial en Argentina (Michener, 2007; Roig-Alsina, 2008), a raíz de ello, ambas familias tienden a ser poco abundantes o presentar pocas especies en el área de estudio. La familia Colletidae presenta especies solitarias y pocas especies realizan nidos en agregación (Michener, 2007), con lo cual no es sorprendente el bajo número de riqueza y abundancia observados en este estudio. Dentro de la familia Andrenidae también se observó la misma tendencia exceptuando al género *Psaenythia* que presentó numerosas especies y con abundancias más altas a lo observado en otros estudios (Dalmazzo, 2010; Torretta & Poggio, 2013; Álvarez *et al.*, 2015; Ramello *et al.*, 2020).

Un grupo particular de abejas observadas durante el estudio son las especies cleptoparasitas ya que dependen de la presencia y actividad de sus especies hospedadoras, y es por ello que su registro es muy dificultoso. A pesar de ello es interesante destacar que todas las especies fueron observadas entre la primavera tardía y el verano medio en concordancia con lo registrado previamente en el país (Dalmazzo, 2010; Mazzeo & Torretta, 2015). Estos resultados son importantes para futuros estudios que contemplen la biología y ecología de estos grupos de abejas que interactúan directamente con otras especies. Entre las especies cleptoparasitas observadas dentro de la familia Apidae se encuentran *Brachynomada* sp. 1, *Epeolus (Trophocleptria) variolosa* y *Osirinus* sp.1, cuyos géneros hospedadores conocidos son *Psaenythia*, *Colletes* y aquellos pertenecientes a la tribu Tapinotaspidini como *Chalepogenus*, respectivamente (Rozen, 1994; Michener, 2007). Es interesante observar que se registró el género *Osirinus* en el

establecimiento CMO 2 en donde también fue observada una especie potencialmente hospedadora (*Chalepogenus roitmani*), mientras que en el caso de *Epeolus* (*Trophocleptria*) *variolosa* fue observada en CMO 1 pero no se registraron individuos del género *Colletes* que representan sus especies hospedadora en tal establecimiento. Esto último sugiere la posible presencia del género *Colletes* en el establecimiento o alrededores del mismo y que por ello no ha sido registrado, o que la especie cleptoparásita utilice otros géneros de abejas que aún no han sido observados como huéspedes. Por otro lado, dentro de la familia Halictidae se encuentra el género *Temnosoma* que probablemente sea huésped de algunas especies de la tribu Augochlorini representada por géneros tales como *Augochlora*, *Augochlorella*, *Augochloropsis* y *Paroxystoglossa* entre otros (Michener, 2007). Por su parte, se registró para la familia Megachilidae una especie cleptoparásita perteneciente al género *Coelioxys*, cuyos huéspedes son abejas pertenecientes de la misma familia y en algunos casos de la familia Apidae (Michener, 2007). A pesar de que el género *Coelioxys* presenta una gran riqueza de especies (Michener, 2007) y se encuentra bien representado a nivel específico en el país y en las cercanías del área de estudio (Mazzeo & Torretta, 2015; Ramello *et al.*, 2020), en el presente estudio fue observada una sola morfoespecie en dos establecimientos.

En la familia Apidae la mayor abundancia fue registrada durante la primavera media coincidiendo con las mayores abundancias observadas de la especie social *A. mellifera*, mientras que al excluirse dicha especie del análisis, la mayor abundancia de abejas fue registrada durante el verano temprano en donde la especie solitaria *Melissodes tintinnans* alcanzó su mayor abundancia y donde se registró una gran actividad de la especie social *B. pauloensis*. Es de destacar que la especie *A. mellifera* representó por sí sola el 61,43% de los individuos totales observados en el estudio (n = 3246), siendo registrada en todos los establecimientos productivos y alcanzando un valor de dominancia relativa de 5,56 veces más que la segunda especie dominante, a pesar de que no se han observado apiarios ni colmenas en los alrededores de los establecimiento (Obs. pers.). La segunda especie con mayor abundancia relativa, *B. pauloensis* presentó mayor actividad durante el verano medio, hecho que coincide con su ciclo de vida ya que en ese periodo la abundancia de obreras en los nidos llega a su pico máximo. Por último, es de destacar que tanto la especie *Ceratina rupestris* como *M. tintinnans*, fueron muy abundantes estando presente en un gran número de muestreos y que, si bien estas especies no fueron dominantes al incluir todas las especies registradas, si lo fueron si solo se analizan las especies de abejas nativas.

En el caso de la familia Halictidae los resultados de abundancia obtenidos son similares a estudios previos realizados en ambientes cercanos en el área de estudio y en otras regiones del país (Dalmazzo, 2020; Álvarez *et al.*, 2015; Le Féon *et al.*, 2015; Mazzeo & Torretta, 2015; Ramello *et al.*, 2020). Las especies del género *Lasioglossum* estuvieron presentes en todos los muestreos y sitios estudiados, observándose una tendencia similar a las especies de los géneros *Augochlora* y *Augochloropsis*. En el trabajo realizado por Le Féon *et al.* (2015) fue observado que las especies del género *Lasioglossum* fueron el grupo de abejas más abundantes durante sus muestreos, llegando a alcanzar más del 80% de la abundancia total en el verano tardío. Lo mismo fue citado por Ramello *et al.* (2020) quienes encontraron que las especies de este género son muy abundantes en las cercanías del área de estudio. En particular, la especie *L. hualitchu* no solo fue la más abundante dentro del género en el presente trabajo, sino que fue registrada en siete de los ocho establecimientos productivos, ubicándose como la segunda especie dominante de abejas nativas por detrás de *B. pauloensis*. Esta última especie parecería ser la especie más abundante en esta zona de Buenos Aires en relación con *B. bellicosus*, ya que la abundancia de ambas fue similar a lo registrado previamente en las cercanías del área de estudio y cuya presencia se deba a diferentes características de nidificación entre ellas (Ramello *et al.*, 2020).

La especie *Augochlora iphigenia* fue la especie mejor representada del género, esta especie utiliza el suelo como sustrato de nidificación y además es considerada primitivamente eusocial (Dalmazzo & Roig-Alsina, 2011 y referencia allí), características que podrían explicar el gran número de individuos registrados en el área de estudio, y sus altos valores de dominancia relativa. La tercera especie más abundante dentro de los halíctidos fue *Augochlora amphitrite*, que utiliza madera en descomposición como sustrato de nidificación y es considerada, a diferencia de *A. iphigenia* como una especie social con división de castas (Dalmazzo & Roig-Alsina, 2012). La actividad de estas abejas comienza en la primavera cuando una hembra fundadora sale de la hibernación y comienza a forrajear y construir un nuevo nido (Dalmazzo & Roig-Alsina, 2012), presentando un patrón similar a lo observado en el presente. La gran abundancia de troncos en descomposición rodeando cercos perimetrales de los establecimientos o en los caminos rurales, podría ser uno de los factores que podría explicar su presencia en casi todos los establecimientos estudiados.

Los valores de diversidad de abejas observados para cada establecimiento variaron entre los mismos y entre temporadas sucesivas, observándose el mismo patrón para la

riqueza y la abundancia de abejas. Durante la primera temporada el establecimiento CMC 2 presentó la mayor riqueza asociado a los menores índices de diversidad e indicando una gran dominancia de la especie *A. mellifera* con respecto al resto. Por su parte los establecimientos CMO 2 y CMC 1 presentaron una gran dominancia de una especie como puede observarse con los perfiles de rango-abundancia y los valores de $\pi < 1$, es decir, con una mayor abundancia de *A. mellifera* en comparación al resto de las abejas. Dicho patrón no fue observado en el establecimiento CMO 1 que presentó más individuos de especies nativas que de *A. mellifera* ($\pi > 1$), lo cual influyó en que durante la temporada 2015-2016 el establecimiento presentara mayores índices de diversidad. Las curvas de rarefacción de especies también sugieren que el establecimiento CMO 1 fue el más diverso durante la temporada. Durante la segunda temporada de estudio (2016-2017) el establecimiento CMO 1 presentó índices de diversidad que lo colocaron como el segundo establecimiento más diverso y con menos dominancia por detrás de CMT 2, a pesar de que tuvo la menor cantidad de muestreos realizados. Por otro lado, el establecimiento CMO 2 presentó el mayor número de especies registradas en la temporada ($S = 33$), siendo el valor más alto registrado incluso en ambas temporadas, presentando además una gran abundancia de *A. mellifera* pese a disminuir su número bruscamente en comparación con lo registrado para el primer año. Por otra parte, en los establecimientos CMT 3 y CMT 2 las especies más abundantes fueron *B. pauloensis* y *M. tintinnans* respectivamente, siendo *A. mellifera* relegada a la segunda especie más abundante en ambos establecimientos. En la gráfica de perfiles de rango-abundancia puede observarse que en el establecimiento CMT 3 tanto *B. pauloensis* como *A. mellifera*, están muy cercanos y con una gran dominancia con respecto al resto de las especies a diferencia de lo que ocurre en el establecimiento CMT 2. Esto último se reflejó en los valores de equidad de especies observados para CMT 2, en la abundancia de abejas nativas en relación con *A. mellifera* ($\pi > 5$) y que dicho establecimiento presentara los mayores valores de diversidad. Es de destacar que en este último establecimiento la especie más abundante fue el árido *M. tintinnans*, una especie solitaria que presenta un ciclo de vida en donde los adultos comienzan a emerger entre la primavera tardía y el verano temprano (Danforth *et al.*, 2019). En este punto es interesante destacar que los dos sitios que tuvieron mayor diversidad (H') en cada temporada (CMO 1 y CMT 2) fueron los sitios que también presentaron la mayor proporción de individuos de abejas silvestres (P_i) con respecto a *A. mellifera*, a excepción del establecimiento CMT 3 que a pesar de tener un $\pi > 1$ se observó una alta dominancia de las dos especies más abundantes. Debido a que el número de muestreos realizados para CMO 1 fueron bajos

durante la segunda temporada, las curvas de rarefacción observadas de este establecimiento posiblemente se encuentren sesgadas y no reflejan su verdadera diversidad. Finalmente, se ha observado que el aumento en el número de establecimientos productivos durante la segunda temporada no provocó un aumento sustancial en la riqueza de abejas observadas, ya que solo siete nuevas fueron registradas a partir de los cuatro sitios productivos nuevos estudiados. Sin embargo, teniendo en cuenta ambas temporadas, aquellos realizados durante el segundo año (2016-2017) permitieron registrar un 28% de nuevas especies de abejas ($S = 22$), debido principalmente a un mayor número de especies de las familias Megachilidae y Apidae ($S = 10$ y $S = 9$ respectivamente).

En relación con el punto anterior, el manejo agrícola de los establecimientos presentó una tendencia en cuanto a diferencias en la composición de la apifauna presente en los bordes de cultivo se refiere, observándose que en producciones convencionales la diversidad de abejas fue menor con respecto a los otros manejos, a pesar de presentar un gran número de especies y superando en algunos casos a otros establecimientos. Una explicación a este resultado podría ser la propuesta por Forrest *et al.* (2015) donde han encontrado que los sistemas orgánicos y convencionales suelen compartir muchas especies de abejas, en particular aquellas que son muy abundantes en el ambiente, pero los establecimientos orgánicos soportan más especies que son consideradas raras en los convencionales. Una herramienta interesante y que se pueden utilizar para obtener respuestas a las diferencias encontradas entre los establecimientos son las redes de interacción planta-polinizador. Un punto interesante para destacar es que se ha observado que a pesar de que establecimientos con diferentes manejos pueden tener similitudes en cuanto a las riquezas de visitantes florales se refiere, se observaron redes de interacción más grandes y asimétricamente estructuradas en los establecimientos orgánicos frente a convencionales, con una mayor abundancia de abejas y una mayor riqueza de especies vegetales visitadas en los orgánicos (Power & Stout, 2011). En dicho trabajo registraron una mayor cantidad de abejas en establecimientos orgánicos frente a convencionales, y a pesar de que las diferencias halladas en la riqueza entre tales ambientes no fueron significativa, si lo fue en cuanto a la abundancia y equidad de las especies de abejas se refiere, registrándose mayores valores en establecimientos orgánicos (Power & Stout, 2011). De esta manera podría explicarse la presencia de las principales especies de las familias Apidae y Halictidae en casi todos los establecimientos observados, independientemente del manejo agrícola.

En relación a las temporadas estudiadas, se observó que los índices de diversidad (H') durante la primera temporada fueron menores para los establecimientos convencionales, mientras que durante la segunda temporada ambos establecimientos se ubicaron entre los cuatro que presentaron la menor diversidad, siendo el calculado el menor valor para CMC 1. Esto sugiere que otros factores no contemplados en el estudio podrían estar aportando a la tendencia antes mencionada. Una explicación a esto proviene de diversos estudios donde las diferentes especies de abejas respondieron de manera diferencial al grado de disturbio del ambiente que las rodeaba, cuyas variables analizadas incluyeron el tamaño y distancia de forrajeo de cada abeja a partir de su nido, su grado de sociabilidad (solitarias, sociales o cleptoparasitas), sus hábitos de nidificación (en el suelo o por encima del mismo), hábitos alimenticios e incluso una combinación de varios factores (Winfree *et al.*, 2009; Forrest *et al.*, 2015; Pisanty, & Mandelik, 2015; De Santis & Chacoff, 2020). Si bien la mayoría de las especies vegetales donde fueron capturadas las abejas estuvieron presentes en todos los establecimientos, las diferencias halladas en la composición de las especies y abundancias de abejas entre sitios y entre temporadas podrían deberse también a la presencia y abundancia de determinadas especies vegetales presentes en los diferentes establecimientos (escala local) y a la complejidad del área que los rodea (escala paisaje). De hecho, el mantenimiento de la comunidad de abejas también depende de las condiciones ambientales que rodean a los nidos, como por ejemplo aquellos que anidan en el suelo están sujetos al tipo, textura y humedad del suelo, pendiente del terreno, cobertura vegetal que los rodea, entre otras variables (Harmon-Threatt, 2020). Estos resultados estarían indicando que futuros estudios teniendo en cuenta otras variables y/o metodologías de colecta de abejas podrían dar respuestas a los patrones observados entre los diferentes establecimientos.

Las especies de plantas de mayor importancia para las abejas en el presente estudio, ya sea para la utilización de su polen, néctar o ambos han sido las pertenecientes a las familias Asteraceae, seguidas por Fabaceae, Brassicaceae y Solanaceae. Los resultados obtenidos son similares a los observados previamente en trabajos realizados en diferentes ambientes naturales donde las plantas de la familia Asteraceae fueron la principal fuente de alimento para el conjunto de abejas (Dalmazzo, 2010; Ramello *et al.*, 2020). Esta familia además presentó el mayor número de taxones visitados por las diferentes especies de abejas ($n = 34$), siendo las especies *Carduus acanthoides*, *Matricaria chamomilla* y *Picris echioides* las especies que recibieron en conjunto al 55,5% de especies de abejas. De hecho, la familia Asteraceae concentró el 80,77% de las especies de abejas, con lo cual podríamos

afirmar que cumple un rol muy importante en el mantenimiento de la comunidad de abejas presentes en el área de estudio.

En relación a las especies de abejas que registraron más de 60 individuos ($S = 11$) y que visitaron el 89% de especies vegetales observadas, ocho de ellas presentaron hábitos sociales (*A. mellifera*, *B. pauloensis*, *Augochlora amphitrite*, *A. iphigenia*, *A. phoemonoe*, *Lasioglossum hualitchu*, *L. sp 3*, *Augochloropsis tupacamaru*), la especie *Augochloropsis euterpe* cuya sociabilidad no ha sido confirmada aún pero dada la información que se encuentra disponible acerca del grupo, se presume que es social (Coelho, 2002; Gonçalves, 2016), y solo dos de ellas fueron especies solitarias (*M. tintinnans* y *C. rupestris*; Dalmazzo, 2010; Flores-Prado, 2012). Los resultados obtenidos demuestran que dentro de las abejas más abundantes observadas se encuentran tanto especies oligoléticas con una mayor preferencia hacia una determinada fuente de polen para alimentar a sus larvas como poliléticas sin una preferencia marcada (Cane & Sipes, 2006). En estudios previos realizados sobre la especie *A. amphitrite* se sugiere que presenta un comportamiento social y hábitos de alimentación poliléticos, pero en algunos casos con una preferencia floral por *Ludwigia* sp. (Dalmazzo & Roig-Alsina, 2012; Dalmazzo & Vossler, 2015) algo que también ha sido observado en el presente trabajo. Por su parte la especie solitaria del género *Gaesischia*, sólo ha sido registrada en una temporada forrajeando exclusivamente sobre *Lessingianthus rubricaulis*, lo cual podría sugerir, al menos, preferencia por esa planta, aunque dicha especie vegetal recibió cinco especies de abejas más. Esto último podría deberse a la relación asimétrica que existe entre el grado de especialización de las especies de plantas para ser polinizadas y sus polinizadores que pueden ser tanto generalistas como especialistas (Ashworth *et al.*, 2004) y el rol que cumplen los polinizadores principales (especializados) y secundarios (Olsen, 1997). La especie *Melissodes tintinnans* fue registrada en este trabajo forrajeando sobre ocho especies de asteráceas y sobre ocho familias más de plantas, lo cual sugeriría que es una especie con preferencia hacia la familia Asteraceae pero que además utiliza otras familias como fuente de recursos alimenticios. Esto último concuerda con lo registrado para esta abeja en la provincia de Bs. As. donde la misma fue clasificada como una especie ampliamente oligolética, a partir del análisis del polen presente en las escopas de las hembras, con una importante presencia de polen de la familia Asteraceae como también han observado polen de Oleaceae y Myrtaceae (Cilla *et al.*, 2012). Otro caso similar se puede observar en la especie de abeja carpintera *Xylocopa augusti*, en donde se encontró que las mirtáceas son una familia de plantas importantes en la dieta de las larvas de dicha especie entre otras

familias vegetales, mientras que la especie *Passiflora caerulea* fue una fuente importante de néctar para los individuos adultos (Lucia *et al.*, 2017). Es decir, la presencia solamente de una abeja en una especie floral no significa que dicha especie sea poliléctica u oligoléctica a menos que se determinen las fuentes de alimentación de las larvas.

Finalmente, es importante destacar que estudios previos donde compararon la diversidad de la vegetación espontánea presente en establecimientos orgánicos y convencionales, han encontrado una mayor diversidad en aquellos sitios con manejo orgánicos, lo cual a su vez observaron que son establecimientos importantes que agregan complejidad al paisaje que los rodea (Roschewitz *et al.*, 2005). Siguiendo esta línea de estudio, también se ha estudiado cómo afectan los barbechos que rodean cultivos orgánicos y convencionales de trigo a la presencia y abundancia de diferentes especies de abejas, llegando a postular que un aumento del área de cultivo de establecimientos orgánicos del 5 al 20% del área total cultivada (a nivel paisaje), podría mejorar la riqueza de especies de abejas en un 50%, y generar un aumento en la abundancia tanto de abejas solitarias como de abejorros de un 60% y 150% respectivamente (Holzchuh *et al.*, 2008). Debido al gran número de especies vegetales observadas en el presente estudio tanto en los bordes de los cultivos como en los alrededores de los establecimientos y a la gran diversidad de abejas presentes en los mismos, es posible que en futuras investigaciones permitan aumentar el registro de interacciones entre las diferentes plantas y especies de abejas, y de este modo favorecer al desarrollo de estrategias que permitan mantener a las poblaciones de abejas en los ambientes productivos.

ANEXO

Lámina 2.1. Abejas nativas pertenecientes a las familias Colletidae, Andrenidae y Megachilidae asociadas a los bordes de cultivo en el Cinturón Hortícola Platense. a, *Hylaeus (Spatulariella) punctatus* (Brullé) (Colletidae); b, *Colletes* sp. (Colletidae); c, *Psaenythia* sp. (Andrenidae); d, *Parapsaenythia serripes* (Ducke) (Andrenidae); e, *Anthrenoides* sp. (Andrenidae); f, *Anthodioctes megachiloides* Holmberg (Megachilidae). Escala: 2mm. Fotografías: Ramello, P.J., Lucía, M.

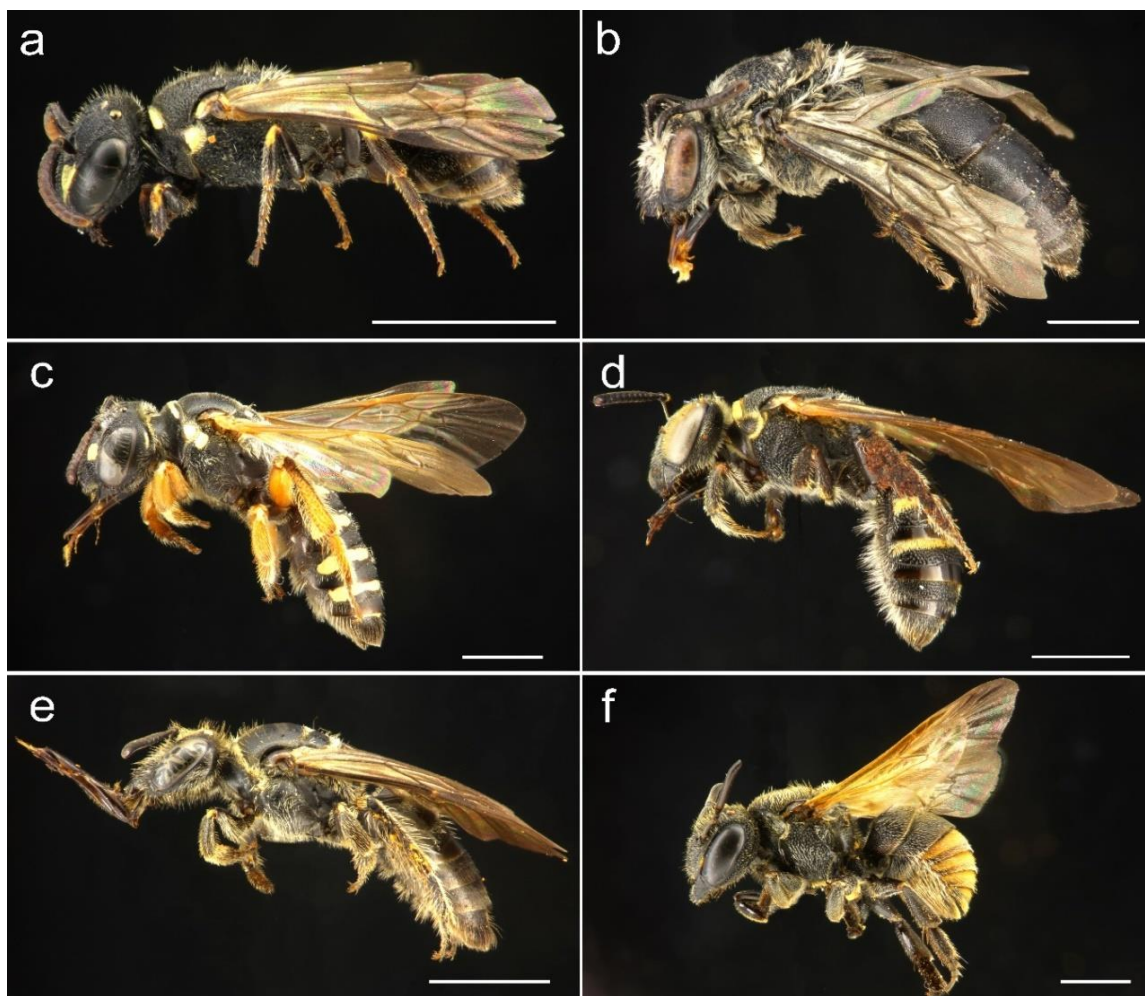


Lámina 2.2. Abejas nativas pertenecientes a la familia Halictidae asociadas a los bordes de cultivo en el Cinturón Hortícola Platense. a, *Augochloropsis multiplex* (Vachal); b., *A. tupacamaru* Holmberg; c., *Augochlora amphitrite*; d., *Halictillus amplilobus*; e., *Augochlorella ephyra* (Schrottky) f., *Lasioglossum* (*Dialictus*) *hualitchu* (Holmberg); g., *Pseudagapostemon* (*Pseudagapostemon*) *olivaceosplendens* (Strand); *Temnosoma* sp.1. Escala: 2mm. Fotografías: Ramello, P.J., Lucía, M.

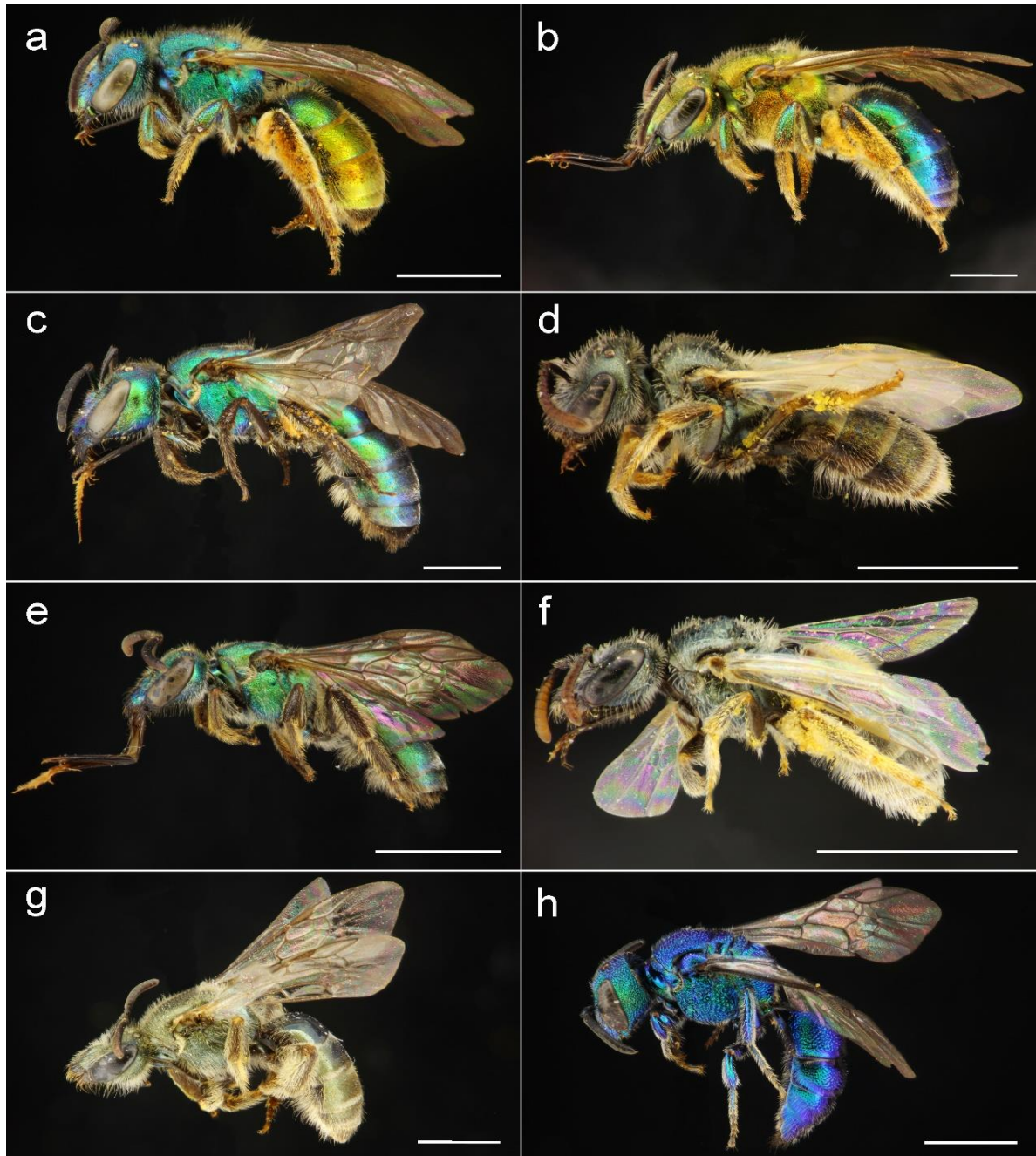
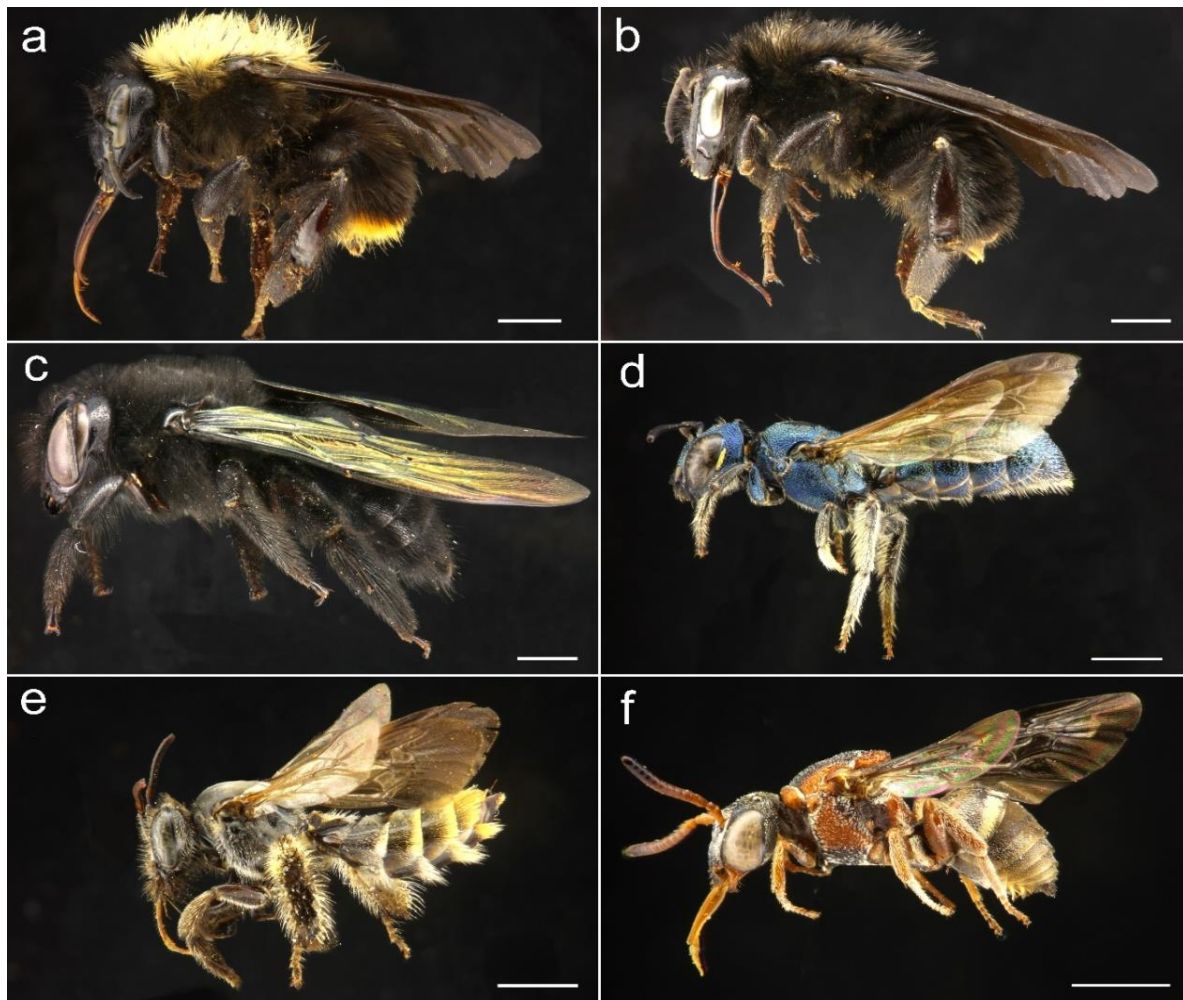


Lámina 2.3. Abejas nativas pertenecientes a la familia Megachilidae asociadas a los bordes de cultivo en el Cinturón Hortícola Platense. a, *Coelioxys* sp.1; b., *Megachile (Chrysosarus) jenseni*; c., *Megachile (Eutricharaea) pusilla*; d., *Megachile (Austromegachile) susurrans* Haliday; e., *Epanthidium bicoloratum*; f., *Ctenantidium bifasciatus*. Escala: 2mm. Fotografías: Ramello, P.J., Lucía, M.



Lámina 2.4. Abejas nativas pertenecientes a la familia Apidae asociadas a los bordes de cultivo en el Cinturón Hortícola Platense. a, *Bombus (Fervidobombus) bellicosus* Smith; b., *Bombus (Fervidobombus) pauloensis* Friese; c., *Xylocopa (Stenoxycopa) artifex* Smith; d., *Ceratina (Crewella) rupestris* Holmberg; e., *Chalepogenus muelleri* (Friese); f., *Brachynomada* sp. 1. Escala: 2mm. Fotografías: Ramello, P.J., Lucía, M.



CAPÍTULO III

DIVERSIDAD DE ABEJAS PRESENTES EN CULTIVOS DE CUCURBITACEAS

Introducción

La presencia de polinizadores silvestres en numerosos cultivos de interés para el hombre es muy importante debido a que mejoran el cuajado de los frutos a través de un aumento en la polinización de los mismos, independientemente de la presencia de la abeja polinizadora y ampliamente distribuida *Apis mellifera* L. (Garibaldi *et al.*, 2013). Es por ello que en las últimas décadas se ha estudiado la presencia de polinizadores en diversos cultivos a escala mundial que son importantes para la alimentación humana (Garibaldi *et al.*, 2009). Entre los resultados de tales estudios, se ha observado una disminución marcada de polinizadores en numerosos cultivos producto de la intensificación de la frontera agrícola, el aislamiento de los cultivos a ambientes naturales que los rodean y el uso de pesticidas (Kremen *et al.*, 2002; Ricketts, 2004; Sáez *et al.*, 2012). Estudios previos han observado el efecto positivo que presentan los establecimientos productivos con manejo orgánico sobre la diversidad de especies y abundancia de las mismas frente a establecimientos convencionales (Bengtsson *et al.*, 2005; Holzschuh *et al.*, 2007, 2008). Es por ello que sería más probable encontrar una menor riqueza y abundancia de especies de abejas nativas sobre cultivos presentes en establecimientos con manejo convencional frente al manejo orgánico y de transición agroecológica.

El aumento de la superficie utilizada con fines agrícolas produce el distanciamiento entre los entornos naturales, seminaturales o remanentes de los mismos entre sí, lo cual termina afectando negativamente a la frecuencia de visitas de los polinizadores a flores de los cultivos aledaños provocando una disminución en los rendimientos de los mismos (Chacoff & Aizen, 2006). Como consecuencia de ello el aumento del área de cultivo surge como una medida para mitigar los efectos negativos de la ausencia de polinizadores en los mismos, afectando particularmente aquellos cultivos altamente dependientes de polinizadores (Klein *et al.*, 2007; Garibaldi *et al.*, 2009). Entre las familias de plantas importantes para la alimentación humana desde civilizaciones precolombinas se encuentran las Cucurbitáceas (Whitaker, 1980), que en la actualidad incluye numerosos cultivos del género *Cucurbita* tales como zapallos, zapallitos y zucchini o zapallo italiano entre otros. La importancia de la presencia de polinizadores para las especies del género *Cucurbita* ex Duch. yace en el hecho de que las especies de este género son monoicas, es decir, presentan flores masculinas y femeninas en el mismo individuo y cuya polinización ocurre gracias a la presencia de polinizadores que actúan como vectores del transporte del

polen desde las anteras de una flor hasta el estigma floral de otra (Nepi & Pacini, 1993; Shuler *et al.*, 2005). La atracción de visitantes florales parece estar relacionada con el color de la corola, el perfume, y la producción de recompensas como néctar y polen y no por un mayor número de flores por plantas (Passarelli, 2002). Es de destacar que, en las cucurbitáceas, la fructificación por apomixis o anemofilia es nula o muy baja (Bedascarrabure *et al.*, 1986; Ashworth, 1997; Hurd *et al.*, 1971; Passarelli, 2002). De hecho, las cucurbitáceas fueron clasificadas como especies con dependencia reproductiva esencial de los polinizadores, lo cual se traduce que, en ausencia de polinizadores, su producción se ve reducida en un 90% o más (Klein *et al.*, 2007).

Es conocida la relación que puede ocurrir entre especies de abejas y diversas especies vegetales, llamándose oligoléticas a aquellas abejas que utilizan por ejemplo polen de un determinado género o familia vegetal para alimentar a su progenie (Wcislo y Cane, 1996; Müller *et al.*, 2006; Michener, 2007). Un caso particular se observa entre el género botánico *Cucurbita* y abejas solitarias de los géneros *Peponapis* y *Xenoglossa* (Hurd & Lindsey 1964; Hurd *et al.*, 1971, 1974; Michener, 2007). El género *Peponapis* Robertson consta de especies de abejas que son oligoléticas del género *Cucurbita* y cuya distribución se extiende desde la provincia de Río Negro en Argentina hasta los Estados Unidos (Hurd & Linsley, 1966), siendo la especie *P. fervens* la especie más austral y la única presente en nuestro país (Hurd & Linsley, 1967). Las abejas del género *Peponapis* son abejas solitarias que construyen sus nidos agregados en el suelo dentro de áreas o cultivos de *Cucurbita* y consumen polen y néctar de este género vegetal para alimentar a sus larvas (Hurd *et al.*, 1974).

La amplia distribución presente en el género *Peponapis* posiblemente esté relacionada con la domesticación del género *Cucurbita* por el hombre y su posterior dispersión por el continente (Hurd & Linsley, 1964; Hurd *et al.*, 1971). De hecho se ha observado que si bien algunas especies del género *Peponapis* se distribuyen en simultáneo con especies de *Cucurbita* no domesticadas compartiendo nichos similares en relación al clima (temperatura y precipitaciones), la especie *P. pruinosa* y *C. foetidissima*, presentan amplias áreas geográficas de distribución que no pueden explicarse solamente mediante condiciones climáticas (Gianni *et al.*, 2011). En particular, la hipótesis de que la especie *P. pruinosa* se expandió desde Mesoamérica hasta Norte América luego de la propagación del cultivo de *C. pepo* presenta una fuerte soporte basado en estudios genéticos, parámetros demográficos y rutas de colonización (López-Uribe *et al.*, 2016). A pesar de ello, la presencia de tres especies de *Peponapis* presentes en Sudamérica no puede

explicarse solamente por la domesticación de este grupo de plantas, planteando la presencia de las especies ferales o ancestrales de la especie cultivada *C. maxima* tal como podría ser *C. maxima* subespecie *andreana* (Naudin) Filov presente en Argentina (Hurd & Linsley, 1967; Wittaker, 1980; Ashworth, 1997). A pesar de ser *C. maxima* la única especie del género hallada desde épocas precolombinas en Sudamérica (Whitaker, 1980), su origen a partir de la subespecie *andreana* parece ser la hipótesis mejor soportada (ver Ashworth, 1997; Sanjour *et al.*, 2002).

Numerosos cultivos de cucurbitáceas han sido estudiados en diversos países con fin de mejorar principalmente su producción y obtener un mayor beneficio para el consumo humano (Tepedino, 1981; Shuler *et al.*, 2005; Chautá-Mellizo *et al.*, 2012; Smith *et al.*, 2013; Zambrano-G. *et al.*, 2013; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018), sin embargo la información disponible sobre las especies de abejas que forrajean en sus flores y a la polinización llevado a cabo por las mismas en cultivos de Cucurbitáceas en Argentina resultan escasos (Teran, 1965; Bedascarrabure *et al.*, 1986; Passarelli, 2002; Ashworth, 1997; Ashworth & Galetto, 2001). Ante lo expuesto se plantea el siguiente objetivo con el fin de estudiar el ensamble de especies de abejas que visitan dichos cultivos en establecimientos hortícolas del CHP:

- 1) Determinar y comparar la diversidad y composición de la apifauna presente en cultivos de cucurbitáceas bajo distintos manejos agrícolas llevados a cabo en los establecimientos hortícolas.

Materiales y métodos

Trabajo de campo

Establecimientos estudiados y temporadas de muestreo

El estudio a campo fue llevado a cabo durante dos temporadas consecutivas (2016-2017 y 2017-2018). De los ocho sitios relevados para el Capítulo II, se seleccionaron seis para el presente objetivo: dos establecimientos con manejo Orgánico (CMO 1 y CMO 2), dos con manejo Convencional (CMC 1 y CMC 2) y dos con manejo en Transición Agroecológica (CMT 2 y CMT 3).

Cultivo de cucurbitácea estudiado

La especie seleccionada para el estudio fue *Cucurbita maxima* (“zapallito verde”, “zapallito de tronco”), esta especie fue seleccionada ya que cumple los siguientes requisitos: es una especie ampliamente cultivada en la zona de estudio estando presente en todas las temporadas, ofrece una gran cantidad de flores tanto femeninas como masculinas por planta y cada individuo (planta) puede ser fácilmente identificado favoreciendo la toma de datos. Los cultivos donde se realizaron las transectas se caracterizaron por tener superficies inferiores al cuarto de hectárea en todos los casos, variando entre 0,01 y 0,19 ha cultivadas ($n=21$; $\bar{X} = 0,07 \pm 0,04$). Los mismos variaron en la longitud (de 10m a 80m) como en cantidad de lomos de siembra (2 a 28).

Metodología de recolección de abejas

Las capturas se realizaron entre noviembre y marzo sobre transectas de 30 m de largo y 2 m de ancho mientras se caminaba lentamente sobre los surcos de los cultivos, de modo tal que la recolección de las abejas presentes en las flores se realizara con red entomológica hacia ambos lados del observador. Se realizaron tres transectas por día por establecimiento, entre las 08:00 hs y las 12:00hs, horario en el cual las flores de zapallo (al menos el 70%) se encontraban abiertas. Las transectas se realizaron por un lapso de 15 minutos y separados entre sí por intervalos de una hora. Todos los ensayos realizados fueron llevados a cabo bajo condiciones climáticas estándar que permitieron la actividad normal de las especies de abejas presentes en el área de estudio (temperatura superior a 17°C al inicio de los ensayos, ausencia de nubosidad y vientos leves o moderados).

La recolección de abejas fue realizada durante el pico de floración del cultivo, momento en el cual estaban presentes flores de ambos sexos (femeninas y masculinas). La elección de la distancia hasta el borde de cultivo al momento de realizar cada transecta fue al azar y la misma varió en cada una de ellas a fin de tener una mayor representatividad de toda la superficie cultivada. Esto se debió principalmente a la gran variabilidad encontrada en la superficie destinada para el cultivo, tanto a través de las temporadas como de los sitios. En los cultivos en donde las camas de siembra no alcanzaron la longitud de 30 m, se procedió a realizar dos o tres pasadas (según la longitud máxima del cultivo) en distintos surcos y de manera aleatoria a fin de igualar la misma superficie de muestreo para todos los ensayos (60 m²). Las abejas fueron sacrificadas en frascos

mortíferos y el material recolectado fue acondicionado en el campo y llevado al laboratorio para su posterior identificación taxonómica.

Trabajo en el laboratorio

Diversidad y riqueza de abejas

La diversidad y riqueza de abejas fue estudiada a través del índice de diversidad de Shannon-Wiener, su transformación a números efectivos de especies (S'), el índice de equitatividad (J), y el índice de Dominancia de Simpson (calculado como $1-D$) (Shannon-Wiener, 1948; Magurran & McGill, 2011; Jost, 2006; ver Materiales y métodos del Capítulo II para más información acerca del cálculo de los índices). Debido a que los valores de diversidad calculados con y sin las especies raras no mostraron diferencias marcadas, estas últimas fueron incorporadas al análisis para obtener dichos índices. A partir de los registros obtenidos, fueron calculadas curvas de rarefacción para obtener estimaciones gráficas de la distribución de las especies de abejas en los diferentes establecimientos. Las mismas fueron calculadas a partir de la abundancia de las especies registradas durante las transectas que se mencionaron en el apartado anterior utilizando el programa EstimateS (Colwell, 2013a), a partir de 100 remuestreos aleatorios (para más información acerca de la metodología ver Capítulo II, Materiales y Métodos).

Al igual que en el Capítulo anterior se calcularon estimaciones del índice de Shannon-Wiener (H') obtenidos durante cada día de ensayo, se evaluó si la misma dependió del manejo agrícola realizado en cada establecimiento hortícola. Para ello a partir de los valores obtenidos durante ambos años, se utilizaron Modelos Lineales Mixtos para su análisis (Zuur *et al.*, 2009). Al igual que en el capítulo anterior, se utilizó como variable respuesta a la diversidad (índice de Shannon) calculado para cada día a través de las transectas realizadas durante el mismo mientras que la variable fija fue el manejo agrícola (ver Materiales y Métodos, Capítulo II). Debido a que el tipo diseño experimental fue similar al realizado sobre los bordes de cultivo, se formaron estructuras anidadas y con desbalances de censos por sitio, por lo cual se incorporó al modelo la variable “establecimiento” y “establecimiento/fecha de muestreo” como factores aleatorios permitiendo modelar de esta manera la estructura de dependencia de las observaciones realizadas en cada establecimiento y en cada día. Luego de evaluar el efecto de ambas variables aleatorias en los modelos (Zuur *et al.*, 2009), se procedió a utilizar solo

“establecimiento” para realizar los cálculos posteriores. Todos los análisis fueron llevados a cabo con el software R ver. 3.6.0 (R Core Team, 2019), utilizando la función “lmer” del paquete lme4 (Bates *et al.*, 2015).

Debido a que los picos de floración de los distintos cultivos estuvieron restringidos entre fines de noviembre y principio de marzo, la variación estacional (fenología) de las especies de abejas sobre los cultivos fue estudiada a partir de los datos obtenidos a lo largo de todos los censos. El objetivo de unificar todos los muestreos fue el de observar cambios temporales en la riqueza y abundancia de las especies de abejas a lo largo de todo el período de floración del cultivo. Para ello, las fechas de los censos realizados fueron clasificadas siguiendo la metodología utilizada en el Capítulo II para caracterizar fenología de las especies de abejas de la siguiente manera:

Período de observación	Fechas abarcadas
Primavera tardía (PrTa)	22-XI al 21-XII
Verano temprano (VeTe)	22-XII al 21-I
Verano medio (VeMe)	22-I al 21-II
Verano tardío (VeTa)	22-II al 21-III

A partir de la información obtenida de las transectas, se procedió a estudiar la constancia de cada especie de abeja en los cultivos durante todo el período de muestreo y para cada período de observación particular (es decir, durante la primavera tardía, el verano temprano, el verano medio y el verano tardío respectivamente). La constancia de cada especie de abeja sobre el cultivo de *C. maxima*, sin discriminar entre establecimientos, fue definida a partir de su presencia en las transectas (Silveira-Neto *et al.*, 1976) a partir de la siguiente fórmula:

$$C_i = p_i * 100 / N$$

dónde C_i es la constancia para la especie i , p_i representa el número de muestreos en donde estuvo presente la especie y N es el número total de ensayos realizados. Luego de obtener los valores de constancia, cada especie fue clasificada siguiendo a Bodenheimer (1955) en “constante” si dicho taxón se encontró en más del 50% de las transectas, en “accesoria” si fue observada entre el 25% y el 50% de las transectas o en “accidental” si fue observada en menos del 25% de las transectas. También se consideraron especies “raras” a aquellas que

aparecieron en una o en dos transectas realizadas y en poca abundancia (Longino *et al.*, 2002). Las mismas fueron clasificadas como *singletons*, *doubletons*, *uniques* o *duplicates* (para más información acerca de la clasificación de las especies raras ver Capítulo II, Materiales y Métodos).

Las especies registradas fueron caracterizadas según el grado de sociabilidad como solitarias o sociales (Michener, 2007; Dalmazzo, 2010; Dalmazzo & Roig-Alsina, 2015) a fin de inferir patrones tanto en el número de individuos registrados como en el período en que fueron observados visitando las flores del cultivo.

Identificación de los individuos recolectados

El proceso de identificación de los ejemplares en el laboratorio fue realizado mediante el siguiente protocolo: montaje individual de cada ejemplar en seco con alfileres entomológicos, debidamente etiquetados y almacenados en cajas entomológicas para su posterior identificación taxonómica. La observación de los especímenes bajo lupa fue realizada con microscopio estereoscópico Nikon® SMZ 745. La identificación de las especies se realizó mediante el uso de claves generales para familias y géneros y en los casos que fue posible se utilizaron claves regionales y de Argentina para la identificación específica (Cure, 1989; Coelho, 2004; Abrahamovich *et al.*, 2005; Michener, 2007; Roig-Alsina, 2008; Dalmazzo & Roig-Alsina, 2011; Lucia *et al.*, 2014, 2015), mediante comparación con material de referencia depositado en la colección de la División de Entomología del Museo de La Plata. En el caso que fue necesario la extracción de la genitalia masculina para la identificación específica se siguió el siguiente protocolo: cada genitalia extraída fue colocada por separado en portaobjetos excavados con hidróxido de potasio 10% en frío para aclararlos. Posteriormente fueron lavados con agua destilada y colocado en viales con glicerina para su posterior identificación. Los ejemplares fueron depositados en la Colección Entomología del Museo de La Plata.

Resultados

Riqueza y abundancia de abejas en cultivos de *Cucurbita maxima*

Durante las dos temporadas de muestreo se registró un total de 1591 especímenes de abejas pertenecientes a 16 especies de 11 géneros y agrupadas en dos familias (Apidae y Halictidae; Tabla 3.1). El esfuerzo de muestreo realizado fue de 29,25hs (1.755 minutos)

Tabla 3.1. Especies de abejas y abundancia registrada en cultivos de *Cucurbita maxima* durante las transectas realizadas en seis establecimientos presentes en el Cinturón Hortícola Platense durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018. Referencias: Sociabilidad: especies Sociales o Solitarias; Constancia: especie Constante ($C > 50\%$), especie Accesorio ($25\% > C > 50\%$) y especie Accidental ($C < 25\%$); Períodos de muestreo: PrTa (Primavera tardía: 22-XI al 21-XII), VeTe (Verano temprano: 22-XII al 21-I), VeMe (Verano medio: 22-I al 21-II) y VeTa (Verano tardío: 22-II al 21-III). Debajo de cada período se indican los individuos registrados por especie; n: abundancia total registrada por especie.

FAMILIA Especie	SOCIABILIDAD	CONSTANCIA	PERÍODOS DE MUESTREO				n
			PrTa	VeTe	VeMe	VeTa	
APIDAE							
<i>Apis mellifera</i>	Social	Constante	375	422	220	146	1163
<i>Bombus pauloensis</i>	Social	Accesorio	0	11	35	35	81
<i>Melissodes tintinnans</i>	Solitaria	Accidental	2	7	1	0	10
<i>Peponapis ferox</i>	Solitaria	Accesorio	2	34	164	13	213
<i>Ptilothrix relata</i>	Solitaria	Accidental	7	0	0	0	7
<i>Thygater analis</i>	Solitaria	Accidental	2	7	12	3	24
<i>Xylocopa augusti</i>	Solitaria	Accidental	0	5	1	0	6
HALICTIDAE							
<i>Augochlora amphitrite</i>	Social	Accidental	8	5	5	9	27
<i>Augochlora iphigenia</i>	Social	Accidental	1	5	7	1	14
<i>Augochlora phoemonoe</i>	Social	Accidental	3	0	0	0	3
<i>Augochlora ephya</i>	Social	Accidental	0	0	1	0	1

<i>Augochloropsis berenice</i>	Social	Accidental	2	6	9	1	18
<i>Augochloropsis euterpe</i>	Social	Accidental	0	3	5	0	8
<i>Augochloropsis tupacamaru</i>	Social	Accidental	0	1	0	0	1
<i>Lassioglossum hualitchu</i>	Social	Accidental	8	1	3	0	12
<i>Lassioglossum</i> sp. 3	-	Accidental	0	0	3	0	3
ABUNDANCIA			410	507	466	208	1591
RIQUEZA OBSERVADA			10	12	13	7	
TRANSECTAS			33	36	39	9	

distribuidas en 117 transectas en los seis establecimientos, con una presencia de abejas en el 93,3% de las mismas (sólo en ocho oportunidades no se registraros visitas: PrTa = 4; VeTe = 1; VeMe = 3).

El número de especies observadas fluctuó entre 13 en el verano medio y siete en el verano tardío, con una acumulación de 14 (87,5%) especies registradas a partir del verano temprano (Tabla 3.1). Las únicas especies de la familia Apidae que fueron observadas a lo largo de toda la temporada de floración del cultivo fueron *Apis mellifera* L. *Peponapis feroens* (Smith) y *Thygater analis* (Lepeletier), mientras que para la familia Halictidae fueron *Augochlora amphitrite* (Schrottky), *A. iphigenia* Holmberg y *Augochloropsis berenice* (Smith) (Tabla 3.1). La mayor riqueza de especies de la familia Apidae (con seis especies) fue observada durante el verano temprano y el verano medio, mientras que para la familia Halictidae la mayor riqueza se observó durante el verano medio (con siete especies) (Tabla 3.1).

La riqueza registrada en los establecimientos varió de seis a 11 especies ($\bar{x} = 9$, DE $\pm 1,78$), presentando además valores de riqueza muy similares entre los establecimientos, a excepción del CMO2 donde se observaron solo seis especies (Tabla 3.2). Las especies *A. mellifera* y *P. feroens* fueron observadas en todos los establecimientos (Tabla 3.3), mientras que *Bombus pauloensis* Friese, *T. analis* y *A. iphigenia* fueron registradas en cinco de los seis de ellos (Tabla 3.2). Por otro lado, la mayor riqueza de abejas registrada en el cultivo fue en el establecimiento CMO1, presentando siete especies para la familia Apidae y cinco para la familia Halictidae (Tabla 3.2). La mayoría de las especies de abejas solitarias fueron registradas en los establecimientos CMO 1, CMC 1 y CMT 2, siendo la especie *Ptilothrix relata* (Holmberg) observada sólo en el establecimiento CMO 2 (Tabla 3.2).

Las especies más abundantes durante los muestreos fueron *A. mellifera* (n = 1163), *P. feroens* (n = 213), *B. pauloensis* (n = 81), *T. analis* (n = 24) y *A. amphitrite* (n = 27), siendo las cuatro primeras pertenecientes a la familia Apidae y la última a la familia Halictidae. La suma de sus abundancias representa el 94,7% del total de especímenes registrados y la especie *A. mellifera* registró el 73,1% de las abejas recolectadas durante todo el estudio (Tabla 3.1). La abundancia de *Apis mellifera* a lo largo de toda la temporada productiva del zapallito (noviembre-marzo) fue superior en tres de los cuatro períodos estudiados (primavera-verano) en comparación con el total de abejas nativas sin discriminar entre las diferentes especies (Figura 3.1). Durante el verano medio el porcentaje de la abundancia de especies nativas superó el 52,7% de las observaciones realizadas coincidiendo con el pico de abundancia registrada para la especie *P. feroens* (Tabla 3.1).

Tabla 3.2. Listado de la riqueza de abejas registradas en cultivos de *Cucurbita maxima* para cada sitio de muestreo durante dos temporadas consecutivas 2016-2017 y 2017-2018 en establecimientos del Cinturón Hortícola Platense. Referencias. Cultivo con manejo orgánico (CMO), Cultivo con manejo en transición agroecológica (CMT) y Cultivo con manejo convencional (CMC). Debajo de cada establecimiento se indica con una cruz (X) la presencia de la especie de abeja en los cultivos estudiados. Las especies raras fueron indicadas con un asterisco para los *singletons* (*) y con dos para los *duplicates* (**) respectivamente.

FAMILIA Especie	ESTABLECIMIENTO					
	CMO 1	CMO 2	CMC 1	CMC 2	CMT 2	CMT 3
APIDAE						
<i>Apis mellifera</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Bombus pauloensis</i>	X		X	X	X	X
<i>Melissodes tintinnans</i>	X		X	X	X	
<i>Peponapis ferveus</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Ptilothrix relata</i>		X				
<i>Thygater analis</i>	X		X	X	X	X
<i>Xylocopa augusti</i>	X		X		X	
HALICTIDAE						
<i>Augochlora amphitrite</i>	X		X	X		X
<i>Augochlora iphigenia</i>	X		X	X	X	X
<i>Augochlora phoemonoe</i>			X			
<i>Augochlorella ephyra</i> *				X		
<i>Augochloropsis berenice</i>	X	X		X		X
<i>Augochloropsis euterpe</i>		X			X	X
<i>Augochloropsis tupacamaru</i> *	X					
<i>Lassioglossum hualitchu</i>	X	X	X	X		
<i>Lassioglossum</i> sp. 3**					X	
RIQUEZA TOTAL	11	6	10	10	9	8

La abundancia de las especies de abejas varió entre establecimientos con distinto manejo con el mayor número de abejas nativas observadas en el establecimiento CMT 2, seguido por CMO 1 y CMC 1 respectivamente (Tabla 3.3). Por otro lado, la proporción observada entre abejas nativas y *A. mellifera* mostró una tendencia decreciente desde los establecimientos de transición, hacia valores intermedios presentes en los orgánicos y las menores proporciones registrada para los convencionales (Tabla 3.3). La mayor diferencia en el número de abejas nativas en relación con *A. mellifera* fue observada en el establecimiento CMT 2, donde el 82% de los individuos fueron abejas nativas superando por más de 4,5 veces a *A. mellifera* (Tabla 3.3) con una gran presencia de la especie nativa *P. fervens* (n = 138).

La única especie que visitó los cultivos en forma constante a lo largo de toda la temporada de muestreo fue *A. mellifera* (C = 76,7%), mientras que las especies *P. fervens* y *B. pauloensis* se comportaron como especies accesorias (C = 35,8% y C = 25%, respectivamente; Tabla 3.1). El resto de las especies registradas se comportaron como especies accidentales alcanzando el mayor valor de constancia la especie *Augochlora amphitrite* con 14,2%. A lo largo del período de floración del cultivo los valores de constancia fluctuaron para cada especie, siendo los valores para *A. mellifera* superiores al 64% en todos los casos (PrTa = 78,8%, VeTe = 83,3%, VeMe = 64,1% y VeTa = 100%), mientras que la especie *P. fervens* se comportó como un visitante floral accesorio a partir del verano temprano (PrTa = 6,1%; VeTe, C = 44,4%; VeMe, C = 53,8%; VeTa, C = 44,4%) y *B. pauloensis* como accidental, accesorio y constante desde el verano temprano al verano tardío respectivamente (VeTe, C = 19,4%; VeMe, C = 43,6%; VeTa, C = 66,7%). La especie *A. mellifera* estuvo presente en 92 de las 117 (78,6%) transectas realizadas mientras que las especies nativas en su conjunto estuvieron presentes en 89 de las mismas (76,1%). Por otro lado, todas las especies de la familia Halictidae fueron clasificadas como accidentales dentro del cultivo (Tabla 3.1).

Diversidad de abejas en cultivos de *Cucurbita maxima*

Los valores de diversidad de Shannon variaron entre 0,647 y 1,066 para los diferentes sitios, los números efectivos de especies entre 1,911 y 2,903, los de equidad (J') entre 0,281 y 0,486, y los de dominancia entre 0,255 y 0,492 (Tabla 3.4). La mayor diversidad hallada fue en el establecimiento CMT 2 donde existió una menor presencia de *A. mellifera* y una mayor abundancia de *P. fervens* (n = 145), siendo esta última la especie más abundante en

Figura 3.1. Abundancia de las abejas nativas y la especie exótica *Apis mellifera* registradas para cada período de muestreo sobre cultivos de *Cucurbita maxima* en establecimientos productivos del Cinturón Hortícola Platense durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018. Referencias: PrTa (primavera tardía: 22-XI al 21-XII), VeTe (Verano temprano: 22-XII al 21-I), VeMe (Verano medio: 22-I al 21-II) y VeTa (Verano tardío: 22-II al 21-III).

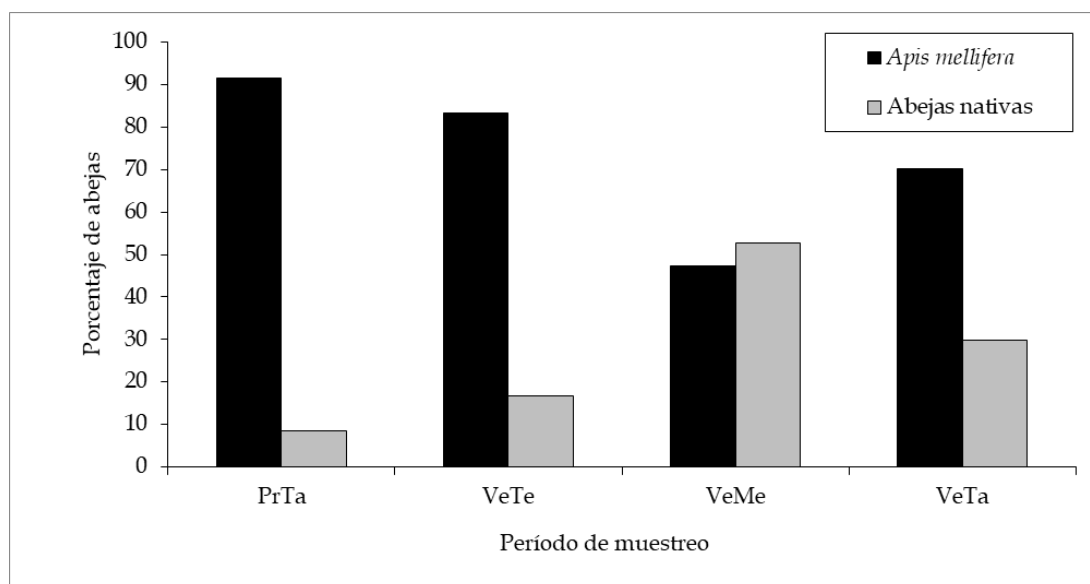


Tabla 3.3. Abundancia de abejas nativas y *Apis mellifera* registradas para cada establecimiento a lo largo de las dos temporadas de estudio (2016-2017 y 2017-2018) en el Cinturón Hortícola Platense. Referencias: Manejo: CMO: Cultivo con manejo orgánico, CMC: Cultivo con manejo convencional, CMT: Cultivo con manejo en transición agroecológica; Nativas: abundancia de especies nativas; pi: relación entre la abundancia de abejas nativas/*A.mellifera*. Entre paréntesis está indicada la abundancia porcentual tanto de las abejas nativas como de la especie *A. mellifera* para cada establecimiento.

Establecimiento	Total abejas	Nativas	<i>Apis mellifera</i>	pi
CMO 1	354	78 (22%)	276 (78%)	0,28
CMO 2	74	17 (22,9%)	57 (77,1%)	0,29
CMC 1	481	67 (13,9%)	414 (86,1%)	0,16
CMC 2	286	42 (14,7%)	244 (85,3%)	0,17
CMT 2	211	173 (82%)	38 (18%)	4,55
CMT 3	185	51 (27,6%)	134 (72,4%)	0,38

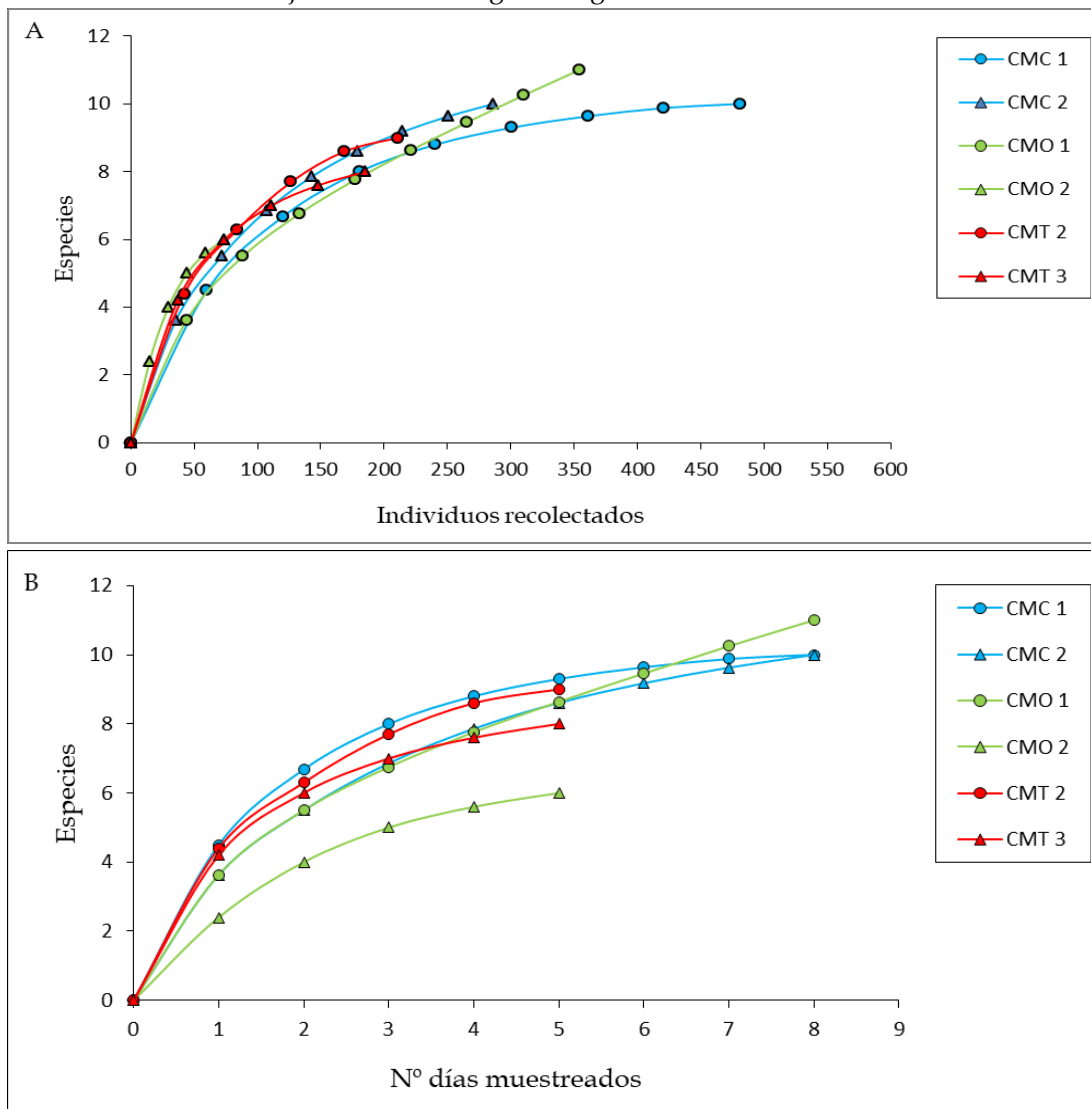
el cultivo. Los análisis de diversidad de abejas realizados sobre el cultivo para cada tipo de manejo agrícola arrojó que no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los mismos ($\chi^2 = 4,46$; gl.= 2; $p = 0,107$), a pesar de observarse una tendencia de que los establecimientos con cultivos de manejo de transición presentaron los valores más altos tanto de diversidad como de equidad (Tabla 3.4).

Las curvas de rarefacción se observan cercanas de alcanzar la asíntota de especies con respecto al número de individuos recolectados y al número de días estudiados para la mayoría de los establecimientos excepto CMO 1 y CMC 2 (Figura 3.2 A y B). El establecimiento CMO 1 acumuló el mayor número de especie por individuos y por días estudiados, sin embargo, al comparar el número de especies alcanzado por los sitios a igual número de días estudiados ($n = 5$), se observa que a excepción de CMO 2 que alcanzó las seis especies, mientras que en el resto se observan valores entre ocho o nueve (Figura 3.2 B). Una tendencia similar se observa al evaluar el número de individuos máximo alcanzado por CMO 2 en comparación con el resto de los establecimientos (Figura 3.2 A).

Tabla 3.4. Valores de riqueza y diversidad de abejas registradas en seis establecimientos ubicados en el Cinturón Hortícola Platense durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018. Referencias: Tipos de manejo: CMO: Cultivo con manejo orgánicos, CMC: Cultivo con manejo convencionales CMT: Cultivo con manejo en transición agroecológica; Transectas: número de transectas realizadas; n: número de individuos registrados; S: número de especies; H': índice de Shannon; S': números efectivos del índice de Shannon; J: índice de equidad; 1-D: índice de diversidad de Simpson.

Establecimiento	Transectas	n	S	H'	S'	J	1-D
CMO 1	24	354	11	0,858	2,358	0,358	0,377
CMO 2	15	74	6	0,860	2,362	0,480	0,392
CMC 1	24	481	10	0,647	1,911	0,281	0,255
CMC 2	24	286	10	0,689	1,993	0,299	0,268
CMT 2	15	211	9	1,066	2,903	0,485	0,492
CMT 3	15	185	8	1,011	2,749	0,486	0,455

Figura 3.2. Curvas de rarefacción de especies construidas a partir del número de individuos registrados (A) y del número de muestreos realizados (B) en establecimientos productivos del Cinturón Hortícola Platense durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018. Referencias: Establecimientos: CMO: Cultivo con manejo orgánico, CMC: Cultivo con manejo convencionales CMT: Cultivo con manejo en transición agroecológica.



Los horarios de forrajeo indican una tendencia de las abejas nativas a estar más activas sobre los cultivos durante las primeras horas de la mañana entre las 08:00hs y las 09:00 hs, para luego disminuir su actividad hasta las 10hs en donde se observa un segundo período de actividad (Figura 3.3). Por otra parte, la especie *P. fervens* presentó dos momentos de gran actividad a lo largo del período observado, el primero (temprano) entre las 08:00hs y las 09:00hs y el segundo (tardío) entre las 11:00hs y las 11:30hs, siendo este último horario compartido con el pico de actividad del abejorro *B. pauloensis* (Figura 3.3).

Las especies más abundante en los ensayos, *A. mellifera*, no presentó una tendencia marcada con respecto a su actividad sobre el cultivo debido a que su presencia aumento

desde las 08:00hs hasta las 09:30 hs donde presentó una gran actividad, para luego observarse dos incrementos en la actividad entre las 10:30hs y las 11:00hs y presentar un aumento de la actividad nuevamente entre las 11:30hs y las 12:00hs (Figura 3.3). El conjunto de abejas presentó su mayor actividad entre las 08:30 y las 09:30 en donde se registraron 2,23 abejas/transectas para disminuir su actividad a partir de las 12:00hs. Durante las 08:30hs y las 10:30hs fueron registradas todas las especies de abejas a excepción de *Augochloropsis tupacamaru* que fue observada a las 11:30hs. Por otro lado, cinco de las nueve pertenecientes a la familia Halictidae fueron registradas antes de las 09:00hs, y cinco de las siete especies pertenecientes a la familia Apidae entre las 09:00hs y las 10:00hs. Finalmente, el horario en el que se registró el mayor número de especies de abejas (S = 10) fue entre las 09:30 y las 10:00hs.

La especie *A. mellifera* no mostró una tendencia marcada hacia un género floral u otro, presentando una relación de visitas ♀/♂ de 1,17 (♀ = 627; ♂ = 536), mientras que el resto de las especies de abejas nativas si lo hicieron observándose una mayor cantidad de visitas hacia flores estaminadas dando una relación de visitas de 0,66 (♀ = 171; ♂ = 257). A pesar de ello, *A. mellifera* visitó en mayor medida a las flores femeninas (pistiladas) hasta aproximadamente las 09:30hs, y a partir de las 10:30hs en donde aumentó el número de visitas hacia las flores masculinas (estaminadas; Figura 3.4).

Teniendo en consideración al conjunto de especies de abejas nativas, siempre presentaron una mayor abundancia en flores masculinas de *C. maxima* durante todos los horarios observados (Figura 3.4). Comparativamente con *A. mellifera*, las especies de abejas nativas visitaron de forma más equitativa ambos tipos de flores hasta las 10:30hs, luego de ese horario comenzaron a visitar mayor número de flores masculinas al igual de *A. mellifera* (Figura 3.4).

Figura 3.3. Horario de forrajeo de las abejas nativas y *Apis mellifera* sobre los cultivos de *Cucurbita maxima* observadas en transectas durante 15 minutos en seis establecimientos del Cinturón Hortícola Platense durante las temporadas 2016-2017 y 2017-2018. El número de visitas registradas fueron discriminadas entre *Apis mellifera* y abejas nativas.

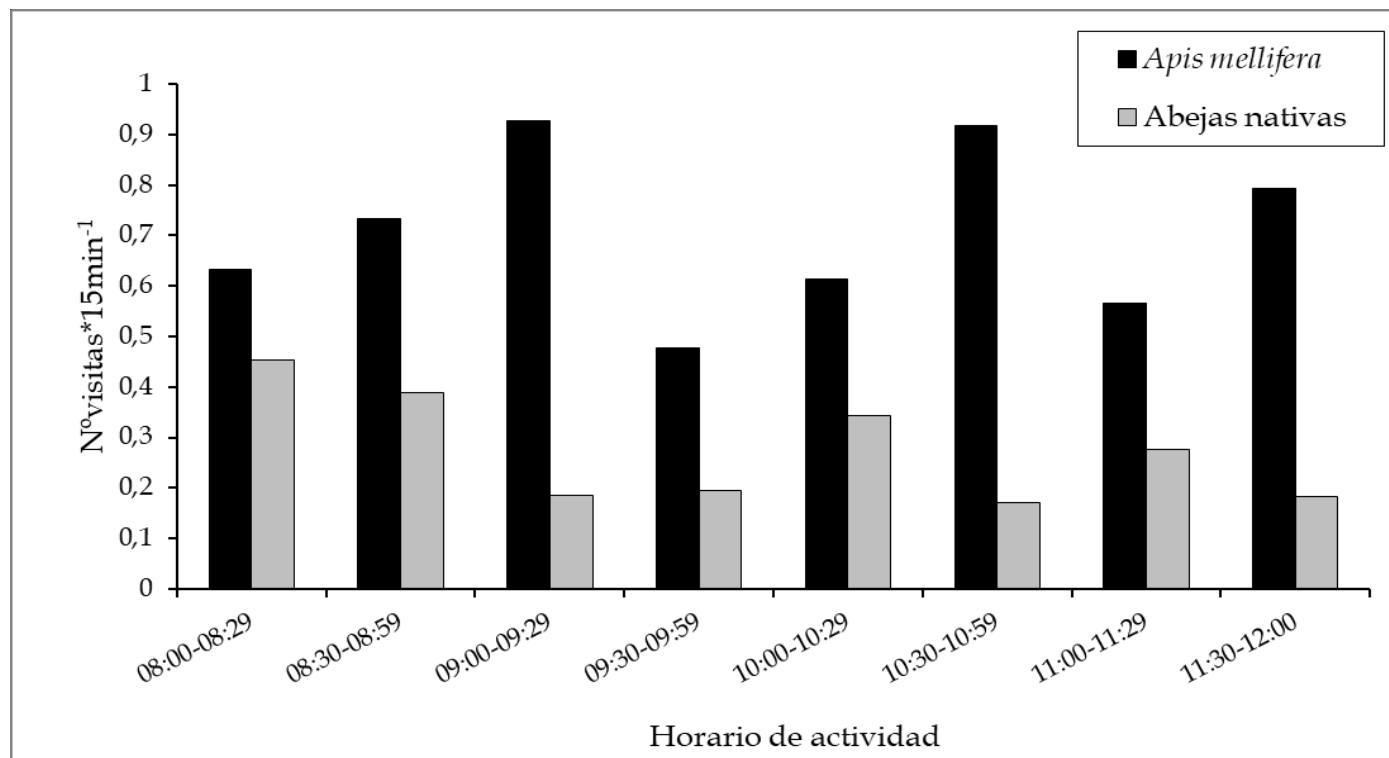
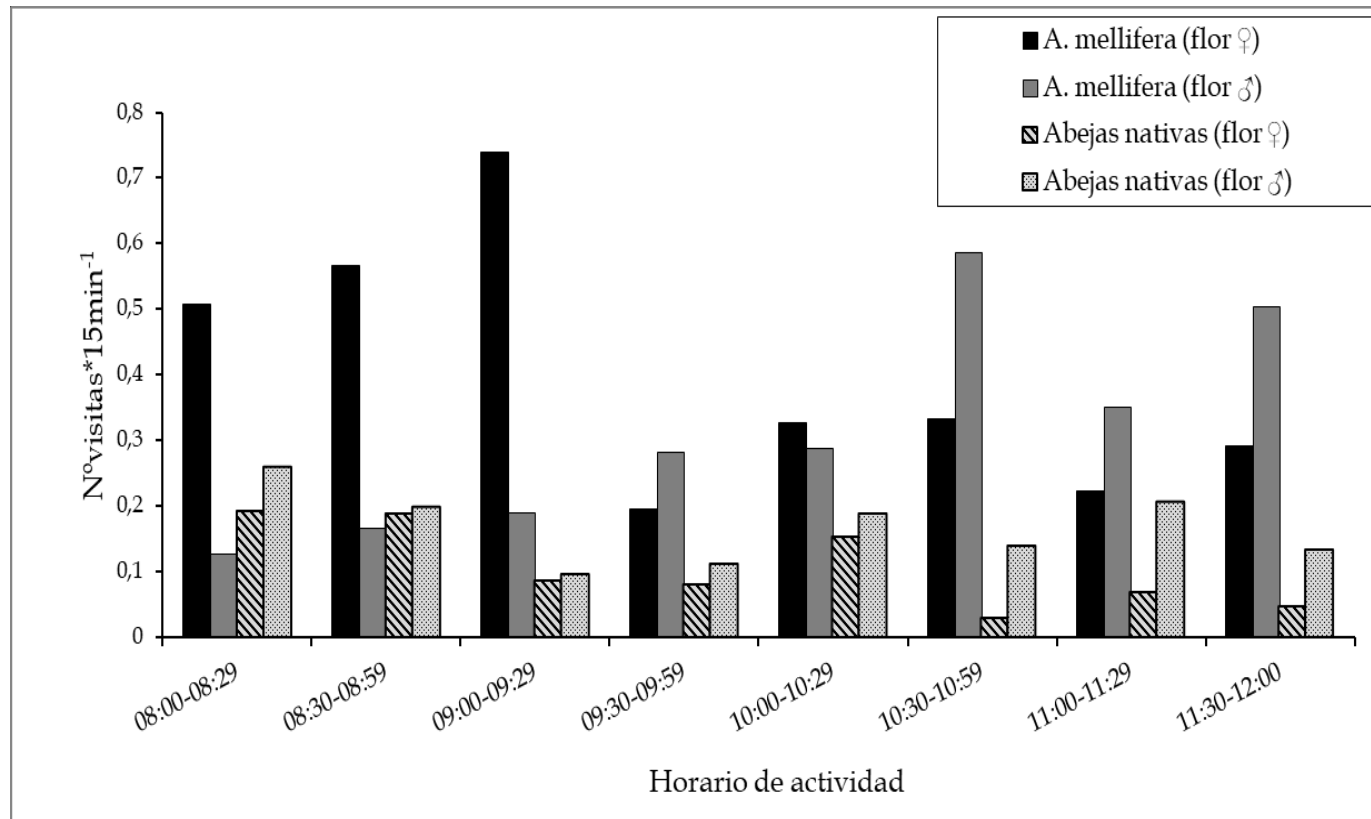


Figura 3.4. Patrones de actividad de las especies de abejas registradas en cultivos de *Cucurbita maxima* sobre flores pistiladas (♀) y estaminadas (♂) en transectas de 15 minutos en establecimientos del Cinturón Hortícola Platense. Las abejas fueron clasificadas en *Apis mellifera* y en abejas nativas, debido a la alta abundancia registrada de la primera en comparación al resto de las especies de abejas.



Discusión

Riqueza de especies, géneros y familias de abejas observadas

En este capítulo se estudió la diversidad y composición de la apifauna presente en cultivos de cucurbitáceas bajo distintos manejos agrícolas en establecimientos hortícolas del gran la Plata. En el mismo se observó que las abejas que visitan las flores de cultivos de *Cucurbita maxima* en la zona del Cinturón Hortícola Platense estuvieron representadas únicamente por especies de las familias Apidae y Halictidae, solo dos familias de abejas de las cinco que existen en la región (Roig Alsina, 2008). Estos resultados coinciden con estudios previos realizados en Argentina sobre cultivos de la misma especie y en poblaciones naturales de *C. maxima* subespecie *andreana* (Terán, 1965; Ashworth & Galetto, 2001; Passarelli, 2002). En el presente trabajo y en las investigaciones antes mencionadas *Apis mellifera* estuvo presente en todos los casos, mientras que la especie oligoléctica *Peponapis fervens* sólo no fue observada en uno de ellos (Passarelli, 2002). Dicha ausencia de *P. fervens* resulta interesante ya que la zona de estudio en donde se llevó a cabo dicha investigación está ubicada a menos de 4km del establecimiento CMC 1 en donde si fue observada. Por otro lado, la presencia de la tercera especie más abundante, el abejorro *Bombus pauloensis*, fue reportada previamente en cultivos de *C. maxima* en el área de estudio (Passarelli, 2002). Siguiendo con especies de abejas observadas previamente sobre cucurbitáceas, en el trabajo de Terán (1965) realizado en la provincia de Tucumán se menciona la presencia de la especie *Pseudagapostemon puelchanus* (Holmberg) en flores de *Cucurbita ficifolia* Bouché, especie que ha sido registrada en bordes de cultivos de CMO 2 y CMT 2 forrajeando sobre *Carduus acanthoides* y *Matricaria chamomilla*, pero que no ha sido observada en este estudio sobre cultivos de *C. maxima*. La ausencia de *P. puelchanus* en los cultivos observados se puede estar asociado a su grado de sociabilidad (solitaria) y abundancia registrada en el área de estudio, junto a una posible estacionalidad de la especie ya que fue observada forrajeando en el borde de cultivo principalmente durante la primavera media y los ensayos realizados para esta investigación fueron realizados posteriormente a dicho período. Es por ello que no se descarta la posibilidad de observar a *P. puelchanus* visitando flores de *C. maxima* en futuros censos en el área de estudio.

La riqueza de abejas registradas en otras regiones de Sudamérica (Brasil y Colombia) en cultivos de diversas cucurbitáceas, incluida la especie *C. maxima*, presentan en algunos casos semejanzas con las especies de abejas observadas en este estudio (Nicodemo *et al.*,

2009; Zambrano-G. *et al.*, 2013; Serra & Campos, 2010). Entre ellas pueden citarse a las especies *A. mellifera*, *Bombus pauloensis* (nombrado como “*B. atratus*” en el resto de los trabajos) y *Peponapis fervens* entre los ápidos, e incluso también están presentes géneros tales como *Augochlora*, *Augochloropsis* y *Lassioglossum* entre los halictidos.

En relación con el número de especies totales observadas en flores de zapallito, la riqueza registrada en trabajos previos en otros países y regiones del mundo sobre cultivos de cucurbitáceas tales como *C. maxima*, *C. moschata*, *Citrullus lanatus*, *Cucumis melo*, *C. sativus* e híbridos entre diferentes cultivos, muestran en algunos casos una menor riqueza de abejas (eg. Pinkus-Rendon *et al.*, 2005; Julier & Roulston, 2009; Nicodemo *et al.*, 2009; Serra & Campos, 2010; Zambrano-G. *et al.*, 2013; Tschöcke *et al.*, 2015) mientras que en otros superan ampliamente a lo observado aquí, registrándose géneros y especies de las familias Andrenidae, Colletidae y Megachilidae, e incluso especies cleptoparasitas en flores de cucurbitáceas (Meléndez-Ramírez *et al.*, 2002; Julier & Roulston, 2009; Krug *et al.*, 2010; Smith *et al.*, 2013; Motzke *et al.*, 2015; Pisanty *et al.*, 2016; Rodrigo Gómez *et al.*, 2016).

La mayor riqueza de abejas fue registrada en el lapso de dos meses entre el verano temprano y el medio, con un pico de presencia muy marcada en el verano medio, lo cual coincide con la actividad de las abejas presentes en bordes de cultivo. Solo cuatro especies resultaron ser las más abundantes durante las dos temporadas de muestreo *Apis mellifera*, *Peponapis fervens*, *Thygater analis* y *Bombus pauloensis*. Las tres primeras estuvieron presentes durante todos los periodos, al igual que *Augochlora amphitrite*, *A. iphigenia* y *Augochloropsis berenice*, a diferencia de *B. pauloensis* que fue observada a partir del verano temprano y hasta el verano tardío.

La presencia de la *P. fervens* en flores de zapallitos era de esperarse ya que dicho género de abeja se ha adaptado a la recolección del polen del género *Cucurbita* para alimentar a sus crías, siendo además un importante polinizador de tales plantas (Hurd *et al.*, 1971). Aunque estuvo presente en todos los establecimientos la abundancia de la especie varió notablemente entre los establecimientos, lo cual podría estar relacionado a diversos factores. Este género de abejas nidifica bajo tierra, y como se ha observado previamente en la especie *Peponapis pruinosa*, la labranza del suelo daña los túneles que conducen a las celdas de cría, afectando el número de individuos emergentes de la siguiente temporada (Shuler *et al.*, 2005; Ullmann *et al.*, 2016). Por consiguiente el método de labranza afectaría particularmente a las abejas de este género (*Peponapis*) debido a que suelen nidificar en forma agregada alrededor de los cultivos de *Cucurbita* o debajo de los mismos (Hurd *et al.*, 1971; Julier & Roulston, 2009; Krug *et al.*, 2010; Delgado-Carrillo *et al.*, 2017; Obs. pers.). En

este estudio, todos los establecimientos realizaron labranzas similares en cuanto a su profundidad de trabajo (20 a 30 cm) con lo cual la diferencia en la abundancia de *P. fervens* observada entre los sitios podría deberse a dichas practicas culturales pero no sería el único factor que explique las diferencias encontradas. Dicho esto, algunos factores que podrían estar actuando pueden ser el tipo de suelo que favorece o dificulta la nidificación, los periodos de rotación de los cultivos en cada establecimiento, el tipo de riego utilizado en los cultivos y los años de siembras sucesivas de cucurbitáceas en cada sitio o alrededores que permitan mantener las poblaciones de esta especie en cada área de estudio. En este sentido Julier & Roulston (2009) encontraron que el contenido de arcilla del suelo afectaría negativamente en la abundancia de *P. pruinosa* sobre el cultivo de *Cucurbita pepo* (Zucchini) mientras que la presencia de riegos en los cultivares favorecieron a un mayor número de individuos posiblemente al facilitar la excavación en el suelo al momento de construir los nidos.

Otra especie de abejas solitarias que ha sido registrada fue *Pthilotrix relata* durante la primavera tardía en ambas temporadas y solamente en el establecimiento CMO 2 contabilizando un total de siete individuos (♀ = 4, ♂ = 3; Tabla 3.2). Se ha documentado que el polen del género *Cucurbita* puede ser una fuente importante de alimento para las larvas de esta especie cuya presencia en celdas de cría estudiadas alcanzaron el 84,6% de las mismas (Tellería, 2003). Debido a ello y a que es una especie poco abundante tanto en el área de estudio como en un área natural ubicada cerca del establecimiento (aproximadamente a 24 km; Ramello *et al.*, 2020), no se descarta que la especie sea observada de forma esporádica en el resto de los establecimientos.

En el caso de *B. pauloensis*, se vio un incremento en la cantidad de ejemplares que visitan el cultivo a medida que avanza la temporada, hecho que se relacionaría con su ciclo de vida, observándose un incremento de individuos en los meses más cálidos (fines de diciembre-febrero) y declinando en abundancia hacia principios del otoño donde la colonia genera nuevas reinas y machos para luego desintegrarse (Abrahamovich *et al.*, 2007). Esta especie de abejorro presenta una gran plasticidad tanto en los sitios donde nidifica como el uso de las especies de plantas como fuente de alimento (Cameron & Jost, 1998; Tellería, 1998; Abrahamovich *et al.*, 2001; Cavigliasso *et al.*, 2020). Además, posee una gran distribución en Sudamérica, *B. pauloensis* en Argentina representa a la especie más abundante y con mayor distribución geográfica del género (Abrahamovich & Díaz, 2001). En el presente estudio todos los registros de esta especie pertenecieron a obreras ingresando tanto a flores masculinas como femeninas. No fueron observadas cosechas

activas de polen por esta especie de abeja, a pesar de que en varias oportunidades las mismas presentaban el cuerpo cubierto del mismo. Estas observaciones coinciden con un estudio previo realizado sobre las reservas de alimento de un nido de *B. pauloensis* en el área de estudio en el cual se observó la presencia polen de cucurbitáceas solamente en las celdas con miel y no en las que contenían polen (Tellería, 1998). Las observaciones realizadas en este estudio junto a registros de la presencia de esta especie sobre flores de *Cucumis melo* y del género *Cucurbita* (Tellería, 1998; Abrahamovich *et al.*, 2001), indicarían que *B. pauloensis* utilizaría a los cultivos de cucurbitáceas principalmente como una fuente de néctar.

De las especies de halíctidos sólo tres fueron observadas durante todo el periodo de floración en los distintos establecimientos, *Augochlora amphitrite*, *A. iphigenia* y *Augochloropsis berenice* respectivamente. La presencia de estas tres especies de abejas sobre el cultivo de *C. maxima* durante toda la fenología del cultivo, posiblemente se deba a la naturaleza de la estructura social de las mismas (Dalmazzo & Roig-Alsina, 2012; Dalmazzo & Roig-Alsina, 2015; Michener, 2007). En particular la especie *A. amphitrite* comienza su actividad a principios de la primavera para extender el período de forrajeo hasta mitad de marzo donde los nidos disminuyen su actividad y las hembras se preparan para hibernar (Dalmazzo & Roig-Alsina, 2012). Por otro lado, durante el transcurso del presente estudio se ha observado en varias oportunidades a numerosos halíctidos de los géneros *Lassioglossum* y *Augochlora* forrajeando sobre *Portulaca oleraceae* que crece entre los cultivos, eligiendo a estas últimas por sobre las flores de las *Cucurbita* (Obs. pers.).

Las especies de abejas observadas forrajeando sobre los cultivos coinciden con las observadas en los bordes de cultivo de los establecimientos a excepción de las especies *P. fervens* y *Ptilothrix relata*, que no habían sido registradas previamente en los bordes de cultivo en el presente estudio. La gran similitud encontradas entre las especies recolectadas en los bordes de cultivo y dentro de los mismos en cada establecimiento, sugiere que las abejas utilizan los recursos florales (néctar y polen) que ofrece el cultivo de *C. maxima*. También la ausencia de algunas especies en el cultivo, como por ejemplo *B. pauloensis* en CMO 2, pudo deberse a factores tales como el período de siembra de los cultivos y al ciclo de vida del abejorro, como así también la flora disponible en los alrededores. De hecho, se ha observado que la presencia de diferentes especies de abejas forrajeando sobre un cultivo depende del estado fenológico de los cultivos adyacentes, pudiendo actuar estos últimos como facilitadores de polinizadores o como competidores de estos (Grab *et al.*, 2017). Además la presencia de plantas no nativas son utilizadas por

las especies de abejas generalistas, tal como *A. mellifera*, para ampliar el espectro de flores que visita, con la posibilidad de que esta acción afecte a las redes previas de asociación entre plantas y polinizadores (Montero-Castaño & Vilà, 2017). Esto último es observado cuando una planta atrae a una especie de polinizador altamente competitivo (por ej. *A. mellifera*), donde se observa que el resto de los polinizadores generalistas tienen una plasticidad hacia los recursos y se genera un recableado de interacciones planta-polinizador, posiblemente para evitar la competencia con el polinizador demandante de recursos (Montero-Castaño & Vilà, 2017). Asociado a ello, se ha registrado que la presencia de recursos florales en los bordes de cultivo podría actuar como atrayentes para las especies de abejas y competir con el mismo por los polinizadores al momento de la floración del cultivo de *C. maxima* y *C. moschata* (Passareli, 2002; Serra y Campos, 2010). Esto podría explicar en parte la baja riqueza registrada en cultivos de cucurbitáceas en el establecimiento CMO 2, teniendo en cuenta que fue el establecimiento donde se encontró el mayor número de especies de abejas presentes en los bordes de cultivo. Por ejemplo, las especies *Thygater analis*, *Augochlora amphitrite*, *Augochlora phoemonoe*, *Augochlorella ephyra*, *Augochloropsis tupacamaru* y *Lassioglossum* sp. 3 estuvieron presentes en bordes de cultivo de CMO 2 y ausentes en el cultivo. Sin embargo, no se han realizado experimentos para poder comprobar dichas hipótesis.

Diversidad

El establecimiento CMT 2 presentó la mayor diversidad de abejas, donde se observó una escasa presencia de *A. mellifera* y una importante cantidad de *P. fervens* (n=145), siendo esta última la especie más abundante en el cultivo. Este mismo escenario fue registrado por Krug *et al.* (2010) en Brasil, cuando *P. fervens* fue dominante en un establecimiento, *A. mellifera* fue escasa. Los valores de diversidad hallados en los establecimientos se deben principalmente a una baja equitatividad entre las especies, con al menos una especie dominante en todos los sitios.

Comparado con otros estudios sobre cultivos de Cucurbitáceas los índices de diversidad de Shannon y de equitatividad (J) fueron menores. Sin embargo, existe una diferencia metodológica sustancial en el cálculo de los índices ya que los autores mencionaron que los valores de diversidad se obtuvieron sin tener en cuenta a las especies raras y en el presente estudio (la inclusión o no de las mismas) no varió significativamente los valores de diversidad como para excluirse de los análisis. A pesar de ello es de destacar que en los cultivos estudiados de *C. maxima* se han encontrado menos especies

raras que en Meléndez-Ramírez *et al.* (2002). Por otro lado, los índices de Shannon y Simpson obtenidos por Krug *et al.* (2010) en establecimientos orgánicos fueron superiores a los orgánicos y convencionales calculados en el presente estudio, siendo superados solamente por los establecimientos en transición agroecológica. Dichos autores sugieren que las grandes similitudes de abejas encontradas entre los establecimientos convencionales que estudiaron (gran abundancia de *A. mellifera* y escasas abejas nativas), coinciden en que los sitios presentaban un alto grado de disturbio del ambiente que rodeaba a los cultivos, además del uso de arado, de insecticidas y fungicidas (Krug *et al.*, 2010). También ha sido previamente documentada la disminución tanto en la riqueza como en la diversidad de las abejas nativas presentes en cultivos de sandía (*Citrullus lanatus*), a medida que aumentó la intensificación en las prácticas de cultivo desde un sistema orgánico a uno convencional (Kremen *et al.*, 2002). Sobre el mismo cultivo se ha observado que la frecuencia de visitas de las abejas nativas superó a las abejas melíferas cuando los establecimientos estudiados estaban rodeados con más de 30% de ambiente seminatural (principalmente en un radio dentro de los 50 m bordeando a los cultivos) y cuando las densidades de flores de los mismos eran bajas (Pisanty *et al.*, 2016).

Los índices calculados para cada establecimiento disminuyeron considerablemente en relación con los encontrados sobre bordes de cultivo, sin embargo, los valores de equidad y de dominancia calculados para los CMT mantuvieron el mismo patrón previamente observado en el anterior capítulo, observándose los mayores valores registrados en comparación al resto de los sitios. Esto último se debió a que la relación observada entre la abundancia de abejas nativas y de *A. mellifera* fue mayor en los establecimientos de transición, seguidos por los orgánicos y los establecimientos con manejo convencional respectivamente. A pesar de ello, en el presente estudio se han encontrado valores similares de abundancia, riqueza y diversidad entre los establecimientos con distinto manejo de plagas y enfermedades, sin observarse diferencias estadísticas entre los distintos manejos en cuanto a la diversidad que presentaron. Sin embargo la tendencia observada fue que los establecimientos con cultivos de manejo en transición presentaron los valores más altos tanto de diversidad como de equidad, en concordancia con una menor dominancia entre las especies, seguidos en orden decreciente por los establecimientos orgánicos y convencionales respectivamente. La falta de diferencias estadísticas entre las diversidades registradas pueden deberse por un lado a que el número de establecimientos comparados fue bajo. Por otro lado, al poco tiempo que dura la apertura floral de *C. maxima* lo cual limita el tiempo de exposición a productos químicos

u orgánicos para el control de plagas y hongos, por otro lado, también a la baja utilización de los mismos sobre los cultivos de cucurbitáceas a campo en todos los establecimientos (obs. pers.), sumado a la matriz de producción en la que están insertos dichos establecimientos. Si bien el esquema de producción con manejo orgánico parecería soportar una gran diversidad de especies de abejas tanto en los cultivos como en los bordes de los mismos en comparación con aquellos con manejo convencional (Kremen *et al.*, 2002; Holzschuh *et al.*, 2007, 2008), el grado de distancia a fuentes naturales o seminaturales que promuevan su presencia en el área cumple un rol importante y puede ser uno de los factores que explique las similitudes observadas. Es por ello que tanto la abundancia como la riqueza de abejas registradas sobre los cultivos pueden estar relacionadas con la matriz productiva en la que están insertos los establecimientos. Esto se debe a que el tamaño de cada especie determina su rango de vuelo y por el otro, a las preferencias de cada especie sobre el uso del hábitat que rodea a los establecimientos principalmente por las diversas estrategias de nidificación, alimentación y ciclos de vida que poseen (Winfree *et al.*, 2007, 2009; Zurbuchen *et al.*, 2010; Smith *et al.*, 2013; Pisanty & Mandelik, 2015). Finalmente, la respuesta en la abundancia y riqueza de abejas asociado al uso de pesticidas químicos en particular sobre cultivos de cucurbitáceas, ha resultado en diversas conclusiones debido al grado de aplicación y toxicidad de los químicos y por el otro al asociarlo o no al grado de aislamiento a áreas naturales (Kremen *et al.*, 2002; Shuler *et al.*, 2005). Esto puede relacionarse como se ha mencionado al corto período de apertura de las flores de Cucurbitáceas, permaneciendo abiertas menos de 24 hs, con lo cual el efecto residual de los tratamientos sobre las flores no afectaría a los polinizadores que forrajeaban sobre nuevas flores el siguiente día (Shuler *et al.*, 2005).

Visitas

A lo largo de toda la floración del cultivo *A. mellifera* fue la especie con los mayores registros de visitas estando presente en casi el 80% de las transectas y superando ampliamente a las abejas nativas en todo su conjunto, a excepción del verano medio donde se registró la mayor abundancia de especies nativas sobre los cultivos estudiados. La especie solitaria *P. fervens* fue la más recurrente en el cultivo entre las especies de abejas nativas, seguida por la especie *B. pauloensis* (siendo ambas consideradas como especies “accesorias” sobre el cultivo). Estos resultados se asemejan a resultados de estudios previos realizados sobre varias especies de Cucurbitáceas donde se ha demostrado la

importancia de las diferentes especies de abejas en el servicio de polinización que brindan a este cultivo (Hoehn *et al.*, 2008; Pisanty *et al.*, 2016; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018).

Las abejas nativas, al igual que *A. mellifera*, estuvieron presentes en todos los horarios, pero con un pico de abundancia hacia las horas más tempranas de la mañana (08:00hs y las 09:00hs), siendo observada en varias oportunidades la colecta activa de polen por parte de hembras de las especies *P. fervens*, *Augochlora amphitrite* y *Melissodes tintinnans* solamente. El patrón de abundancia observado para las abejas nativas coincide con lo observado por varios autores en cultivos de cucurbitáceas (Terán, 1965; Stanghellini *et al.*, 2002b; Nicodemo *et al.*, 2009; Vidal *et al.*, 2010; Pisanty *et al.*, 2016; Tschoeke *et al.*, 2015) e incluso se ha registrado el comienzo de actividad de algunas especies de abejas en horarios previos a los de este trabajo (Canto-Aguilar & Parra-Tabla, 2000; Stanghellini *et al.*, 2002a; Pinkus-Rendon *et al.*, 2005; Artz & Nault, 2011; Pisanty *et al.*, 2016; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018).

Las especies del género *Peponapis* poseen características morfológicas (presencia de pelos modificados en sus patas traseras) y etológicas (pueden volar con bajas intensidades lumínicas) que les permiten obtener grandes cantidades de polen de flores de *Cucurbita* (Hurd *et al.*, 1971, 1974). Incluso se han registrado ejemplares volando en las primeras horas antes del amanecer y a bajas temperaturas hacia flores de *Cucurbita*, posiblemente orientadas hacia las mismas por el perfume que emiten en mayor medida durante las primeras horas de la antesis (Hurd & Linsley, 1964; Terán, 1965; Hurd *et al.*, 1971; Passarelli, 2002). Esto último explica la gran presencia de individuos de *P. fervens* entre las 08:00hs y las 09:00hs en las flores de los cultivos y representando entre el 69-80% de las observaciones de abejas nativas para tales horarios. Por otro lado, la gran actividad del conjunto de abejas nativas observada entre las 11:00hs y las 11:30hs se debió principalmente a individuos de *B. pauloensis*, coincidiendo con un estudio previo donde se registró un aumento en la abundancia de abejorros de este género durante horarios cercanos al mediodía (Stanghellini *et al.*, 2002a; Artz & Nault, 2011). La presencia en mayor medida de las abejas nativas sobre flores masculinas responde principalmente a la gran abundancia de hembras de *P. fervens* buscando polen y néctar, y también a la presencia de las especies *Melissodes tintinnans* y *Augochlora amphitrite* que fueron observadas recolectando polen activamente, a diferencia del resto de las especies que fueron observadas solamente colectando néctar.

Los cambios en la elección floral de *A. mellifera*, visitando mayormente flores pistiladas por la mañana y estaminadas al mediodía podrían responder por un lado a la producción

de néctar por parte de las flores (Nicodemo *et al.*, 2007) y por otro lado, a una disminución paulatina de las flores femeninas en el transcurso del día. Se ha observado que en cultivos de *C. maxima* las flores pistiladas produjeron en promedio 138,9% más néctar que las estaminadas y con mayor contenido de azúcares, presentando un pico en la producción para ambos tipos de flores entre las 09:00hs y las 11:00hs (Nicodemo *et al.*, 2007), observándose un patrón similar en la especie cultivada *C. moschata* (Canto-Aguilar & Parra-Tabla, 2000). Tales características junto a una mayor concentración de proteínas en el néctar de las flores pistiladas se han registrado tanto para la especie silvestre *C. maxima* subsp. *andreana* como para otras cucurbitáceas (Ashworth, 1997; Passarelli, 2002 y referencias allí). Al igual que lo registrado para este trabajo, se ha observado que *A. mellifera* tiene una tendencia a visitar en mayor medida flores femeninas que masculinas en cultivos de *C. pepo* (Artz & Nault, 2011). Concluyendo que la elección floral por las mañanas de esta especie de abeja puede responder a la producción de néctar más abundante y con un mayor contenido de azúcares por parte de las flores femeninas de cultivos de *C. maxima*.

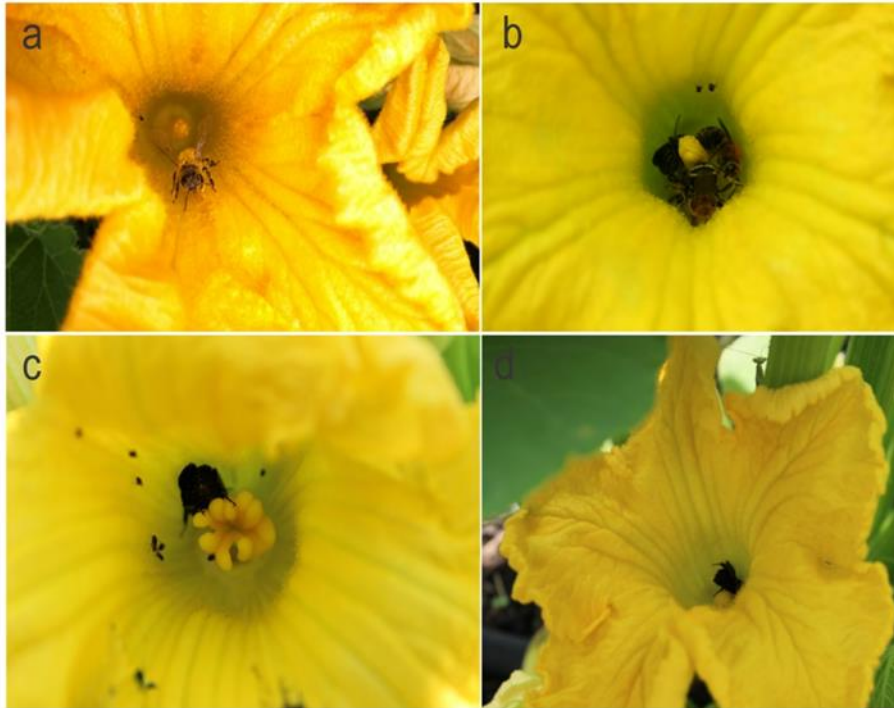
La presencia de *A. mellifera* sobre las flores de cucurbitáceas podría verse influenciada por la disponibilidad floral presente en los bordes de cultivo, debido a la presencia de plantas más atractivas para las mismas como fue observado previamente (Teran, 1965; Passarelli, 2002). En particular, se han registrado especies de las familias Asteraceae y Fabaceae (Passarelli, 2002), junto con la Euphorbiaceae (Teran, 1965) presentes en bordes de cultivos que actúan como atrayentes para *A. mellifera*, afectando negativamente a la abundancia de esta sobre cultivos de *C. maxima*. También ha sido observado que la frecuencia de la abeja melífera sobre cultivos de *C. moschata* estuvo influenciada por la antesis de flores de Brassicaceae y Asteraceae presentes entre los cultivos, desplazándose las mismas desde los cultivos hacia los bordes a medida que en estos últimos se producía la antesis floral y aumentaba la oferta de recurso alimenticio (Serra & Campos, 2010). En particular y asociado a las brassicáceas se ha observado que *A. mellifera* responde a la disponibilidad floral de cultivos de *Brassica napus* L. (Brassicaceae) que rodean a otros cultivos de interés tales como los de fresas prefiriendo a la primera y disminuyendo su abundancia en este último (Bänsch *et al.*, 2020). Esto último reviste de interés debido a que esta familia de plantas fue observada en los bordes de cultivo en el área de estudio y podrían estar afectando directamente a la presencia de la abeja de la miel en los cultivos de *C. maxima*.

ANEXO

Lámina 3.1. Abejas forrajeando en flores de *Cucurbita maxima* presentes en establecimientos productivos del Cinturón Hortícola Platense. Referencias: a, *Apis mellifera*; b., *Thygater analis*; c., *Augochlora amphitrite*; d., Hembra de *Peponapis feroens*. Flores observadas: a: femenina; b-d: masculina; Fotografías: Ramello, P.J., Lucia, M.



Lámina 3.2. Abejas forrajeando en flores de Cucurbitáceas presentes en establecimientos productivos del Cinturón Hortícola Platense. Referencias: a, *Apis mellifera*; b., Machos de *Peponapis fervens*; c-d., *Bombus pauloensis*. Flores observadas: c: femenina; a, b y d: masculina; Fotografías Ramello, P.J., Lucia, M.



CAPÍTULO IV

POLINIZACIÓN DE CULTIVOS DE CUCURBITÁCEAS EN EL CINTURÓN HORTÍCOLA PLATENSE

Introducción

El rendimiento de un cultivo está íntimamente asociado al desarrollo de frutos o semillas maduras a partir de flores polinizadas (Garibaldi *et al.*, 2013). Las abejas son consideradas como los agentes más importante que promueven el movimiento de polen entre las flores y su depósito en los estigmas (Michener, 2007). Asociado a ello, estos insectos presentan algunas características morfológicas tales como la presencia de setas plumosas o estructuras específicas para coleccionar y transportar grandes cantidades de polen, la mayoría del cual es utilizado como fuente de alimento para sus larvas. A pesar de que las abejas silvestres pueden favorecer a la producción de numerosos cultivos, su importancia ha sido poco estudiada hasta las recientes décadas (Klein *et al.*, 2007), siendo necesario aumentar el conocimiento de las especies de abejas que visitan los cultivos y el rol que cumplen en la polinización de los mismos.

La presencia de polinizadores se vuelve sumamente importante para aquellos cultivos cuyo desarrollo de frutos y semillas dependen de la actividad de los visitantes florales. Debido a que el nivel de dependencia de la polinización mediada por animales es variable entre los cultivos, en las especies vegetales que son altamente dependientes de la actividad de los polinizadores sus rendimientos pueden mermar en un 90% o más de su producción ante la ausencia de los mismos (Klein *et al.*, 2007). En esta categoría se ubican los cultivos cuyo aporte de los polinizadores es esencial para la polinización de sus flores y entre los que se encuentran numerosas especies de cucurbitáceas de importancia en la producción de alimentos para el hombre. Dentro de la familia Cucurbitaceae se encuentra el género *Cucurbita*, cuyas flores presentan características morfológicas que restringen la actividad polinizadora a cierto grupo de abejas. Algunas de las características compartidas dentro del género vegetal son la presencia de granos de polen de gran tamaño (entre 80 y 150 μm en promedio), pesados, cubiertos de un "polenkit" y espinados; estigma floral adhesivo y con gran secreción; presencia de abundante néctar rico en azúcar y producido tanto por las flores femeninas como masculinas; corolas grandes y llamativas, con antesis floral diurna y de duración relativamente limitada, ya que sus flores permanecen abiertas solo un día y en algunas especies, no superan las 6 horas cerrándose durante el transcurso de la mañana (Hurd *et al.*, 1971; Nepi & Pacini, 1993; Ashworth y Galetto, 1999, 2001; Passarelli, 2002; Pfister *et al.*, 2017).

El cultivo de *Cucurbita maxima* (“zapallito”, “zapallito verde”, “zapallito de tronco”) se encuentra ampliamente distribuido en Argentina debido a que soporta una gran diversidad de condiciones meteorológicas y presenta individuos que desarrollan flores unisexuales femeninas y masculinas en la misma planta, cuya transferencia de polen depende exclusivamente de polinizadores (Pasarelli, 2002; Pfister *et al.*, 2017). En relación a las características reproductivas de este cultivo, se ha observado que produce en promedio 250 óvulos por ovario y 120.000 granos de polen por flor masculina (Pasarelli, 2002; Nicodemo *et al.*, 2007). La biología floral de este cultivo es similar a la observada en la especie silvestre *C. maxima* var. *andreana* y en la especie cultivada *C. pepo* (‘Zucchini’), que producen una numerosa cantidad de óvulos y de granos de polen de gran tamaño (133-200 μm) provistos de un “pollenkit” que los rodea y facilita la adhesión al estigma (Ashworth & Galetto, 1999; Nepi & Pacini, 1993).

La especie *A. mellifera* se encuentra entre las abejas que intervienen en la polinización de cultivos de *C. maxima* y que ha sido considerada como un polinizador importante del mismo (Pasarelli, 2002; Walters & Taylor, 2006; Nicodemo *et al.*, 2009), aunque su grado de importancia depende de la especie de abeja con la que se compare (Pfister *et al.*, 2017). En relación a ello, por ejemplo los abejorros del género *Bombus* fueron observados como los polinizadores más eficientes en cultivos de *C. maxima* al compararlos con *A. mellifera* y especies de la familia Halictidae (Pfister *et al.*, 2017), mientras que en otra oportunidad la abeja melífera fue considerada como un mejor polinizador frente a la especie *Trigona spinipes* (Fabr.) (Nicodemo *et al.*, 2009). Al considerar otros cultivos de cucurbitáceas, se observa que *A. mellifera* no siempre es la más abundante y/o efectiva comparativamente con otras especies de abejas, traduciéndose en una disminución de su importancia en la polinización de los mismos (Canto-Aguilar & Parra-Tabla, 2000; Serra & Campos, 2010; Artz & Nault, 2011; Garantonakis *et al.*, 2016; Rodrigo Gómez *et al.*, 2016; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018).

La contribución de los diversos animales a la polinización de numerosas especies vegetales ha sido estudiada mediante métodos directos e indirectos que contemplan por un lado la capacidad del visitante floral para movilizar el polen dentro y entre las flores, y por otro lado, a la abundancia que presentan los mismos sobre tales flores (Ne’eman *et al.*, 2010; Baranzelli *et al.*, 2020). Entre las características que definen el grado de importancia de un polinizador para una especie vegetal se pueden mencionar el grado de remoción de polen de las anteras, granos de polen depositados (eficiencia), constancia en la abundancia

de visitas a las flores, porcentaje de formación de semillas o frutos luego de una o varias visitas (eficacia), entre otras variables y combinaciones de ellas (Olsen, 1997; ver Ne'eman *et al.*, 2010; Baranzelli *et al.*, 2020). Determinar los principales agentes que visitan las flores y la contribución real que poseen en la reproducción de diferentes plantas, resulta clave debido a que las flores de las especies vegetales generalmente son visitadas por más de un polinizador entre los que se encuentran tanto especialistas como generalistas, y cuyo aporte de estos últimos suele ser muy importante en el proceso de polinización (Olsen, 1997; Ashworth *et al.*, 2015).

En este capítulo se estudiará la importancia de las principales especies de abejas que visitan cultivos de cucurbitáceas en establecimientos presentes en el Cinturón Hortícola Platense a través de los siguientes objetivos:

- 1) Evaluar la importancia de las principales especies de abejas en la polinización de cucurbitáceas a través de su eficiencia (número de granos de polen depositados en los estigmas florales en cada visita) y eficacia (porcentaje de fructificación).
- 2) Determinar las especies de abejas más importantes para la polinización de cucurbitáceas presentes en el CHP a través de su frecuencia de visitas y de su eficiencia.

Hipótesis

Las especies de abejas difieren en su anatomía y en su comportamiento de forrajeo lo cual incide en su capacidad de depositar polen en los estigmas florales.

Predicción

Las especies de abejas difieren en su eficiencia en la polinización de las especies del género *Cucurbita*. Debido a que las flores presentan numerosos óvulos y granos de polen de gran tamaño, las especies de abejas de mayor tamaño corporal serán más eficientes y eficaces por visita que las más pequeñas, independiente del tipo de manejo agrícola.

Materiales y métodos

Período y sitios de estudio

Los ensayos sobre cultivos de *Cucurbita maxima* fueron realizados en siete establecimientos productivos seleccionados en el cinturón Hortícola Platense durante tres temporadas consecutivas (2016-2017, 2017-2018 y 2018-2019; para información sobre los establecimientos ver Capítulo I). Los ensayos se realizaron entre los meses de noviembre y marzo de cada temporada (primavera tardía a verano tardío) durante los picos de floración de los cultivos y a partir de las 07:30 hs. La amplitud de los meses de ensayos se debió a diversos factores que afectaron el momento de la floración de los cultivos, entre los que se encuentran los períodos de siembra de cada productor, las prácticas culturales llevadas a cabo sobre los mismos y las condiciones meteorológicas presentes al momento del crecimiento del cultivo. A partir de observaciones previas realizadas y a fin de evitar sesgos en el registro de la actividad de las distintas especies de abejas, los ensayos fueron llevados a cabo en días con temperaturas superiores a 17°C, sin viento o con viento leve a moderado y con un clima soleado o bajo grado de nubosidad. El cultivo de zapallito (*C. maxima* Duch.) fue utilizado para realizar los estudios de polinización debido a que fue una especie ampliamente cultivada por los productores locales a lo largo del período estudiado y además presenta numerosas flores tanto femeninas como masculinas a lo largo de su ciclo productivo. También a fin de ampliar los cultivos estudiados en el área de estudio, se realizaron ensayos de eficacia sobre cultivos de *C. moschata* en un solo establecimiento (CMO 2) durante la primer temporada (2016-2017).

Metodología general de recolección y toma de datos

Una técnica ampliamente utilizada para evaluar la contribución de los polinizadores a la formación de semillas y frutos consiste en la exclusión de los mismos por medio de bolsas o estructuras que impidan el contacto efectivo entre los polinizadores y las piezas fértiles de las flores (antera y estigma). Dicha metodología puede ser aplicada sobre flores individuales o inflorescencias según las estructuras florales de la especie vegetal en estudio (Chacoff & Aizen, 2007; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018). En la presente investigación se utilizaron bolsas de tela de voile rodeando los botones florales pistilados (con estructuras florales femeninas) para asegurar la exclusión de los polinizadores hasta que el observador lo disponga. En horas de la tarde (16-17hs) se embolsaron botones pistilados

cuyo tamaño y grado de desarrollo (coloración amarillenta y desarrollo de pétalos) indicaban su posible apertura en el próximo día. En la mañana siguiente, los botones previamente seleccionados fueron registrados para constatar que la flor estuviera abierta en su totalidad y permitir de esta manera realizar los ensayos previstos (Anexo, Figura 4.1). De esta manera y debido a la metodología utilizada cada ensayo de polinización consistió en dos días consecutivos de trabajo sobre la misma estructura floral. Si bien las bolsas de voile no poseían grandes dimensiones (20 cm de ancho por 25 cm de largo), el peso que ejercían las mismas sobre los botones florales no permitían la apertura normal de la flor. Es por ello que se implementó el uso de un vaso de plástico al cual se le quitó el fondo para permitir el ingreso del botón floral dentro del mismo y sobre este se colocó la bolsa que fue cerrada en ambos extremos para asegurar la exclusión (Anexo, Figura 4.1 c). De esta manera, luego de retirar la bolsa y el recipiente plástico, la flor estaba en óptimas condiciones para recibir visitas (Anexo, Figura 4.2 d). Todos los ensayos fueron llevados a cabo a partir de las 07:30 hs y dependiendo del objetivo del mismo, luego de la visita del polinizador la misma fue reembolsada (eficacia) o no, y en este último caso se procedió a colectar el estigma (eficiencia).

La validez de la visita de cada abeja a una flor femenina se tomó como positiva cuando se constató que el visitante floral, luego de ingresar a la flor contactaba efectivamente con alguna parte de su cuerpo el estigma floral. Luego de ocurrido dicho contacto, la especie de abeja fue identificada *in situ* en caso en que fuera posible, y en caso contrario, se le permitió realizar su actividad normal dentro de la flor para luego ser recolectada con una red entomológica al momento de la salida de la misma y sacrificada en un frasco mortífero para realizar su posterior identificación en el laboratorio. En los casos en los que ocurrió el ingreso de dos o más abejas a la misma flor y que además tuvieron contacto con el estigma, dichos ensayos fueron descartados para realizar los análisis posteriores.

Metodología para los ensayos de Eficiencia

El objetivo de esta metodología fue registrar el número de granos de polen depositados en el estigma luego de una sola visita de una abeja. El estudio de la eficiencia de las abejas sobre cultivos de *Cucurbita maxima* fue llevado a cabo durante las temporadas 2017-2018 y 2018-2019 en siete (7) de los establecimientos productivos previamente mencionados en el Capítulo I (solo fue excluido el sitio CMO2). Cada ensayo consistió en retirar la bolsa junto

al vaso de plástico de la flor previamente abierta y registrar la primera abeja que contactaba con el estigma floral identificando la especie y el sexo (♀ y ♂) y el tamaño (ver más abajo estimaciones de tamaño por especie de abeja). Luego de que el visitante floral se retiró, el estigma floral fue extraído cuidadosamente cortando la base del mismo y separado del resto de la flor para ser guardado en una bolsa plástica con cierre hermético de 5 cm x 7 cm junto a su etiqueta con los datos del ensayo. La muestra obtenida fue refrigerada inmediatamente en una caja de telgopor (14 cm ancho x 21 cm de largo x 12 cm de profundidad) en cuyo interior se encontraban bolsas de gel refrigerantes para conservar la muestra obtenida a fin de evitar la aparición de hongos que deterioren el material. De esta manera se conservaron las muestras en el campo hasta su posterior traslado al laboratorio las cuales fueron colocadas en un freezer y mantenidas a -18°C hasta su procesamiento.

Metodología para los ensayos de Eficacia

Los ensayos de eficacia fueron realizados principalmente sobre cultivos de *Cucurbita maxima* durante las tres temporadas antes mencionadas y consistieron en evaluar la producción de frutos a partir de una sola visita de abejas que hubieran contactado el estigma. Los sitios seleccionados para tal fin fueron siete (7) de los establecimientos previamente mencionados (no se llevaron a cabo ensayos en el sitio CMO 3). Con el fin de ampliar el conocimiento sobre la eficacia de polinizadores en otros cultivos de cucurbitáceas, durante la temporada 2016-2017 se realizaron ensayos en *Cucurbita moschata* o “zapallo anco” y que a diferencia del cultivo de *C. maxima*, fue producido solamente durante dicha temporada y solo en el establecimiento CMO 2.

La elección de las plantas para realizar los ensayos de eficacia no fue al azar dentro del cultivo, sino que las mismas debían poseer como máximo un fruto en desarrollo al momento de seleccionar el botón floral para realizar los ensayos al siguiente día. Esta restricción se debió a que se ha observado previamente que la producción de flores femeninas y el posterior desarrollo de los frutos en plantas de la especie *C. maxima* dependen de la presencia de frutos en desarrollo en el individuo, es decir, presentan dominancia de frutos en desarrollo con respecto a los demás en formación (Pasarelli, 2002; Pfister *et al.*, 2017; obs. personal). Utilizando flores de plantas con las características previamente mencionadas se disminuyeron los errores relacionados a la maduración de los frutos luego de realizar los ensayos. Es de destacar que en el caso del cultivo de *C.*

maxima, el fruto es consumido inmaduro (“zapallito verde”) y la practica cultural observada en todos los establecimientos fue la cosecha de los frutos inmaduros entre los tres y los cinco días posteriores a la apertura floral dependiendo de las condiciones climáticas. De esta manera les permite realizar cosechas secuenciales durante el pico de floración de los cultivos. En el caso del cultivo de *C. moschata* en el cual sus frutos se comercializan maduros, la cosecha se realizó 90 días posteriores a los ensayos de acuerdo al calendario llevado a cabo por los productores del establecimiento.

El procedimiento para realizar cada ensayo fue similar al estudio de eficiencia, registrándose la especie de abeja, sexo y su tamaño corporal, pero con la diferencia de que la flor después de ser visitada fue nuevamente cubierta con la bolsa de voile y dentro de la misma se colocó una ficha de identificación con la información de las características del visitante. De esta manera se permitió que la flor complete su ciclo para verificar posteriormente el resultado de la visita floral, es decir, el cuajado o no del fruto. También se realizaron tratamientos evitando la presencia de polinizadores (control negativo) para verificar que ante la ausencia de los mismos no se produce el cuajado del fruto, y también se realizaron tratamientos de polinización libre para comparar los porcentajes de cuajado de frutos y la calidad de los mismos con respecto a los tratamientos de eficacia. El tratamiento de polinización libre consistió en marcar una flor femenina perteneciente a una planta que como máximo esté desarrollando solo un fruto. Luego de la senescencia floral, la misma fue embolsada con una bolsa de voile para cosechar el fruto en formación en los días posteriores. Las cosechas de los frutos en desarrollo como así también aquellos que abortaron, fueron realizadas entre el cuarto y el quinto día posterior a la polinización. Una vez realizada la cosecha, cada fruto fue mantenido en la bolsa de voile del ensayo y trasladados al laboratorio para tomar medidas de peso, diámetro ecuatorial y altura.

Importancia de diferentes especies de abejas en la polinización del cultivo de *Cucurbita maxima*

La importancia en el depósito de polen sobre los estigmas de las principales especies de abejas fue evaluada a partir de la fórmula propuesta por Olsen (1997) y debido a que el autor desarrolló dicha fórmula para una especie de asterácea, se realizó una modificación en cuanto a la eficiencia utilizada para cada especie de abeja quedando como resultado final a la importancia como, con lo cual la fórmula de importancia quedó definida como:

$$\text{Importancia del polinizador} = \text{Eficiencia } i * \text{abundancia relativa } i$$

donde “Eficiencia i ” de la especie de abeja i es el número promedio de granos de polen depositados en el estigma floral luego de una sola visita y su “abundancia relativa i ” es el número de visitas de la especie i / número total de visitas de todas las especies de abejas durante el período de estudio. La abundancia relativa tomada en cuenta para este objetivo fue calculada a partir del número de individuos registrados para cada especie de abeja presentes en los establecimientos durante el estudio de diversidad de abejas descrito en el Capítulo III. Para el cálculo del índice de importancia todos los individuos de la especie *Peponapis fervens* fueron considerados sin distinción entre ♂ y ♀ para comparar con las otras especies (los granos de polen de ambos sexos fueron promediados, como así también sus frecuencias de visitas fueron tomadas para la especie).

Trabajo en el laboratorio

Cuantificación de polen en estigma

Las muestras de estigmas de los ensayos de eficiencia fueron teñidas con una solución acuosa de safranina para visualizar correctamente la presencia de granos de polen. Esto permitió identificar los granos de polen de *C. maxima* de forma rápida y compararlos con material de referencia previamente colectado en el campo (Anexo, Figura 4.3). Para ello, se agregaron de tres a cinco gotas directamente sobre el estigma dejando que actúe la tinción durante cinco minutos. Transcurrido el tiempo, se procedió a realizar el recuento total del número de granos de polen bajo microscopio estereoscópico binocular Nikon® SMZ 745, con oculares X15. Inmediatamente después de realizar el recuento, se procedió a observar la bolsa plástica donde fue transportada cada muestra a fin de registrar granos de polen sueltos que pudieron separarse del estigma al ser manipulado para teñirlos. En caso de encontrarse granos de polen sueltos, se procedió a sumarlos a la muestra correspondiente. Las variables registradas para cada observación fueron: especie y tamaño de la abeja observada, presencia/ausencia de polen en el estigma y en el caso de que se hubiese producido el depósito y el recuento del número de granos de polen.

Tamaño de las abejas

Debido a que el tamaño del visitante floral tiene relación directa con la cantidad de polen que puede acarrear en su cuerpo, el tamaño de las especies de abejas es una variable importante a la hora de observar su desempeño tanto en los ensayos de eficacia como de eficiencia. Para ello, se adaptó la metodología descrita por Pisanty *et al.* (2016) que consiste en categorizar cualitativamente a las especies de abejas según sus distancias intertegulares (D.I.). La misma es la distancia mínima entre las tégulas que son estructuras ubicadas por encima de la inserción de las alas en el tórax y cuya medida es tomada como referencia para calcular el rango de vuelo de las distintas especies (Cane, 1987; Greenleaf *et al.*, 2007; Michener, 2007). Para ello, se realizó el promedio de la D.I. de 10 especímenes de la misma especie, con el promedio de las diferentes D.I. se establecieron cuatro categorías de tamaño corporal para las abejas: muy pequeñas (D.I. $\geq 1,7$ mm), pequeñas ($1,71$ mm $<$ D.I. $< 2,7$ mm), medianas ($2,71$ mm $<$ D.I. $< 3,7$ mm) y grandes (D.I. $> 3,71$ mm). Las mediciones morfométricas fueron tomadas bajo microscopio estereoscópico binocular Nikon® 745 SMZ con micrómetro en un ocular y los valores obtenidos para cada especie fueron registrados en mm (Tabla 4.1). Las medidas fueron tomadas a partir de individuos recolectados en flores de cucurbitáceas, en bordes de cultivos y de material de referencia. Debido a la gran cantidad en el número de visitas realizadas por la abeja *A. mellifera* en relación al resto de las especies, los análisis posteriores fueron realizados incluyendo a dicha especie dentro de la categoría “medianas” y luego tales análisis se realizaron nuevamente discriminando entre “*A. mellifera*” y “abejas nativas”, para contrastar los resultados entre ellas.

Análisis estadístico

El estudio del número de granos de polen depositados en el estigma floral luego de una visita (eficiencia) teniendo en cuenta cada categoría de tamaño de abejas fue llevado a cabo mediante Modelos Lineales Generalizados Mixtos. Estos modelos se denominan de esta manera ya que están conformados tanto por factores fijos como aleatorios (GLMM sus siglas en inglés; Zuur *et al.*, 2009). La variable respuesta fue el número de granos de polen depositados por visita sobre el estigma floral mientras que las variables utilizadas como factores fijos fueron el tamaño de cada especie de abeja conformada por cuatro niveles (muy pequeñas, pequeñas, medianas y grandes) y el momento en la fenología de las temporadas (primavera tardía, verano temprano, verano medio y verano tardío). La

variable utilizada como factores aleatorios fue “establecimiento”, permitiendo modelar de esta manera la estructura de dependencia de las observaciones realizadas en cada establecimiento. De esta manera es posible evaluar el depósito de polen de cada especie de abeja teniendo en cuenta la variación asociada a cada sitio, disminuyendo el error asociado a esto último y haciendo más robustas las estimaciones. También se analizó el horario de visita a la flor femenina para cada especie de abeja a fin de realizar un estudio descriptivo de los patrones de visita de las principales especies. Para ello, el horario de observación fue dividido en 10 niveles, ya que fue considerada cada 30 minutos a partir de las 07:30hs. Como consecuencia del gran número de réplicas realizadas para la especie *Apis mellifera* en relación al resto de las abejas, y a fin de evitar sesgos en la categoría de tamaño de especie “Medianas”, se realizaron los análisis teniendo en cuenta por un lado el número total de los ensayos ($n=301$) y por el otro, excluyendo a la especie *A. mellifera* ($n=141$). Debido a la naturaleza de la variable respuesta del tipo conteos y que sólo puede tomar valores discretos entre 0 e $\infty+$ (Zuur *et al.*, 2009), se asumió una distribución de errores del tipo Poisson, con una función de enlace “log” que permite modelar datos con una distribución de errores no normales (ver Sáez *et al.*, 2014). Los modelos realizados con esta distribución mostraron sobredispersión (valor parámetro = 180,79), es decir la varianza aumentaba más de lo que aumentó la media, a raíz de lo cual se procedió a analizar el set de datos asumiendo una distribución de errores Binomial negativa que permite modelar sobredispersión a través del parámetro theta (Zuur *et al.*, 2009). A partir de los modelos obtenidos se procedió a la selección de estos para obtener el modelo que mejor ajustara los datos observados a través del procedimiento propuesto por Zuur *et al.* (2009) donde comienza el análisis con la optimización de la parte estructural aleatoria del modelo global mixto, para luego continuar con la estructura fija del mismo. Una vez seleccionada la estructura aleatoria del modelo global, se realizó la eliminación secuencial de los factores fijos que no aportaron significativamente al modelo a través de pasos sucesivos (procedimiento de “backward selection”), cuyo criterio de selección de los modelos se basó en el índice de Akaike (AIC, un resumen de los criterios de selección de modelos puede encontrarse en Johnson & Omland, 2004). La evaluación de la significancia entre el modelo final y el nulo, es decir aquel que solo tiene en cuenta la ordenada al origen, fue realizada a través el cociente de verosimilitud (Lehmann & Romano, 1986). Una vez validado el modelo, se prosiguió a realizar los contrastes entre medias mediante pruebas de Tukey (test a posteriori) con un umbral de alfa del 5%. Todos los análisis fueron llevados a cabo con el software R ver. 3.6.0 (R Core Team, 2019), utilizando la

función “glmmTMB” del paquete homónimo para los modelos de Binomial negativa (Brooks *et al.*, 2017). Los gráficos fueron realizados mediante el paquete ggplot2 (Wickham, 2016).

Resultados

Eficiencia

Durante los ensayos de eficiencia fueron estudiadas un total de 301 flores femeninas distribuidas en 26 días de muestreos con una media (\pm desvío estándar) de $11,58 \pm 4,8$ flores por día. Durante la temporada 2017-2018 se realizaron un total de 158 ensayos en 12 días de muestreo sobre los cultivos, mientras que durante la temporada 2018-2019 se llevaron a cabo un total de 143 ensayos en 14 días de muestreo, realizándose los mismos en ambas temporadas desde la Primavera tardía hasta el Verano tardío (desde fines de noviembre hasta fines de marzo). Considerando ambas temporadas, la mayoría de los ensayos fueron realizados durante el verano temprano y el verano medio (73% de los ensayos totales).

Durante los ensayos de eficiencia se registraron 16 especies de abejas pertenecientes a 12 géneros y agrupadas dentro de las familias Apidae y Halictidae (Tabla 4.1). La riqueza observada para cada familia fue de ocho especies, mientras que los géneros registrados para la familia Apidae y Halictidae fueron ocho y cuatro respectivamente (Tabla 4.1). En relación al tamaño de las abejas, la mayoría de las especies pertenecieron a las categorías Mediana y Muy Pequeñas con cinco especies cada una, representando el 62,5% del total de especies observadas entre ambas. Por otro lado, en la categoría Pequeña se registraron cuatro especies y en la Grande sólo dos. Las especies de la familia Halictidae fueron agrupadas sólo en las categorías Muy Pequeñas y Pequeñas, siendo la primera la más representativa, mientras que las especies de la familia Apidae se distribuyeron entre las categorías Pequeño, Mediano y Grande, aunque la mayor cantidad de especies fueron de tamaño Mediano (Tabla 4.1).

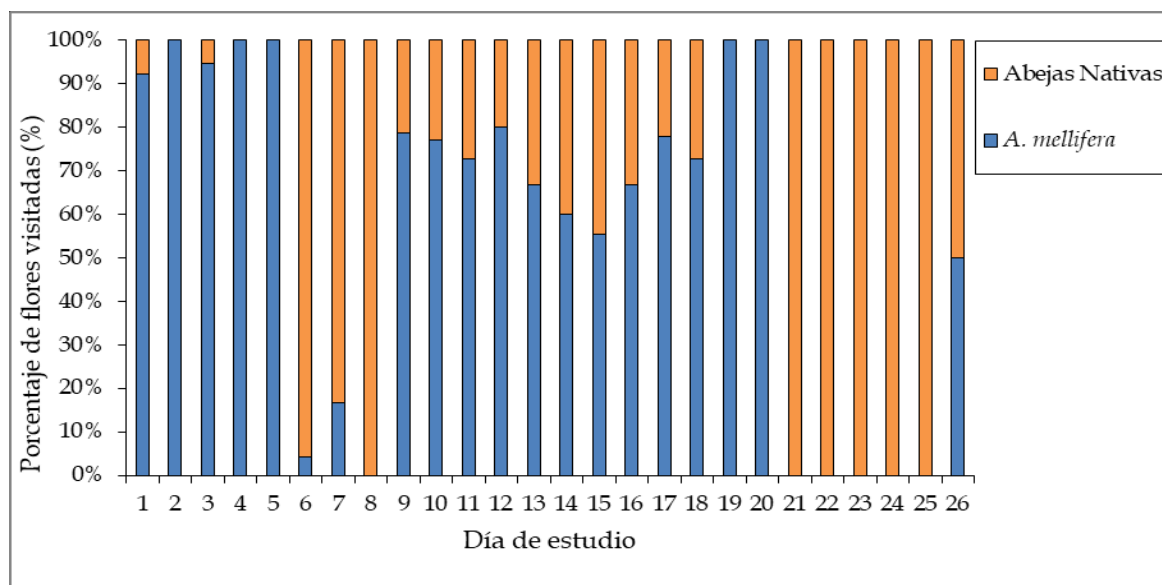
El número de ensayos realizados de eficiencia fue fluctuante durante los días de estudio a lo largo de ambas temporadas tanto para las abejas nativas como para *A. mellifera* (Figura 4.4). Durante la mayoría de los días de estudio se registraron tanto visitas de *A. mellifera* como de especies de abejas nativas en el mismo día, y en general, la abeja melífera mostró un mayor número de flores visitadas por día que el total de las especies

Tabla 4.1. Especies de abejas sobre las cuales se cuantificó eficiencia (granos de polen depositados por visita). Las medidas de distancia intertegular (D.I.) están dadas en milímetros (mm) y pertenecen a las hembras de dichas especies, al menos que se indique lo contrario (♂). Las morfoespecies fueron categorizadas siguiendo los géneros a los que pertenecen. Referencias: D.I.: distancia intertegular de las especies con el número de individuos medidos entre paréntesis; Categoría: según la D.I. fueron clasificadas en MP (muy pequeña), P (pequeña), M (mediana) y G (grande); N: número de individuos observados; Granos de polen (\pm DE): corresponde al promedio por especie junto a su desvío estándar (\pm); N: número de flores totales por especie de abeja; Estigmas: indica el total de estigmas con y sin polen observados para cada especie de abeja; Porcentaje de depósito por visita: es el porcentaje de las visitas donde fue depositado al menos 1 grano de polen.

FAMILIA ESPECIE DE ABEJA	D.I. (n)	CATEGORIA	GRANOS DE POLEN (\pm DE)	N	ESTIGMAS		ESTIGMAS CON POLEN (%)
					CON POLEN	SIN POLEN	
APIDAE							
<i>Alloscirtetica baeri</i>	3,24 \pm 0,12 (5)	M	1	1	1	0	100
<i>Apis mellifera</i>	2,84 \pm 0,13 (10)	M	72,25 \pm 157,4	160	134	26	83,7
<i>Bombus pauloensis</i>	4,09 \pm 0,19 (10)	G	275,06 \pm 466,06	49	47	2	95,9
<i>Ceratina rupestris</i>	2,54 \pm 0,3 (10)	P	63,5 \pm 88,39	2	2	0	100
<i>Melitoma segmentaria</i> (♂)	2,75 \pm 0,14 (5)	M	1	1	1	0	100
<i>Peponapis ferovens</i> (♀)	3,62 \pm 0,17 (10)	M	237,53 \pm 321,95	20	19	1	95
<i>Peponapis ferovens</i> (♂)	3,41 \pm 0,13 (10)	M	45,95 \pm 58,94	25	21	4	84
<i>Thygater analis</i>	3,19 \pm 0,2 (10)	M	40 \pm 45,9	3	3	0	100
<i>Xylocopa augusti</i>	6,8 \pm 0,14 (10)	G	920,5 \pm 504,17	2	2	0	100
HALICTIDAE							

<i>Augochlora amphitrite</i>	2,18 ± 0,14 (10)	P	44,56 ± 93,26	14	9	5	64,3
<i>Augochlora iphigenia</i>	1,22 ± 0,07 (10)	MP	7 ± 4,8	8	5	3	62,5
<i>Augochlora phoemonoe</i>	1,61 ± 0,1 (10)	MP	0	1	0	1	0
<i>Augochlorella ephyra</i>	1,42 ± 0,1 (10)	MP	22,5 ± 9,19	6	2	4	33,3
<i>Augochloropsis berenice</i>	2,48 ± 0,18 (10)	P	14	1	1	0	100
<i>Augochloropsis euterpe</i>	2 ± 0,18 (10)	P	7,33 ± 3,21	3	3	0	100
<i>Lasioglossum hualitchu</i>	1,26 ± 0,09 (10)	MP	2,5 ± 2,12	4	2	2	50
<i>Lasioglossum</i> sp. 3	1,14 ± 0,05 (10)	MP	16	1	1	0	100
TOTAL				301	252	49	84,38

Figura 4.4. Porcentaje de flores visitadas por abejas nativas o por *A. mellifera* durante los ensayos de eficiencia realizados en las temporadas 2017-2018 y 2018-2019 en cultivos de *Cucurbita maxima* en el Cinturón Hortícola Platense. Referencias: las barras representan el porcentaje de flores visitadas para cada grupo de abejas por día; Día de estudio: número de días en los que se realizaron los tratamientos.



de abejas nativas en su conjunto (Figura 4.4).

Los porcentajes de flores visitadas donde hubo depósito efectivo de polen (al menos un grano de polen conoespecífico) fueron similares entre *A. mellifera* y el conjunto de especies nativas superando en ambos casos el 80% de las flores (de 84,4 y 85,1% respectivamente, Tabla 4.1). Hubo una variación importante entre las abejas de las familias Apidae y Halictidae y entre las diferentes especies de cada familia en el porcentaje de flores polinizadas. En la familia Apidae los valores registrados variaron entre 83,2 y 100% con un promedio (\pm sd) de $95 \pm 7\%$, mientras que para la familia Halictidae, los valores fluctuaron entre 0 y 100% con un promedio (\pm sd) $64 \pm 36\%$ (Tabla 4.1).

El número de granos de polen depositados sobre el estigma floral en una sola visita de una abeja varió entre 1 y 2.356, cuyo valor máximo fue registrado para *Bombus pauloensis* Friese, una de las abejas de mayor tamaño observado (Tabla 4.1). Del total de especies registradas sólo cuatro de ellas depositaron más de 1.000 granos de polen con una sola visita: *B. pauloensis* (en cuatro oportunidades: 2.356, 1.529, 1.388 y 1.313 granos de polen respectivamente), *Xylocopa augusti* Lepeletier (1.277 granos), *Peponapis fervens* (Smith) (♀;

1.240 granos de polen) y *A. mellifera* (1.072 granos de polen; Figura 4.5). Dentro de las especies que lograron depositar más de 100 granos de polen con una sola visita se encuentran las abejas antes mencionadas junto a las especies *Augochlora amphitrite* y *Ceratina rupestris* Holmberg (287 y 126 granos respectivamente) dando un total de seis especies de las 16 observadas que superaron dicho límite. Las especies de la familia Apidae, excepto *Alloscirtetica baeri* (Vachal) y *Melitoma segmentaria* (Fabricius), depositaron en promedio más granos de polen por visita que las especies de la familia Halictidae y *A. amphitrite* fue la única especie de los halictidos que en promedio depositó más de 40 granos de polen ($44,56 \pm 93,26$; Tabla 4.1). Entre las especies de abejas nativas las tres especies con los mayores valores de promedio de depósito de polen fueron *X. augusti*, *P. fervens* y *B. pauloensis* (Tabla 4.1). La eficiencia promedio por visita de la especie *P. fervens* fue de $136,95 \pm 242,88$ granos de polen, sin embargo, existió una diferencia importante en la eficiencia entre machos y hembras de esta especie, siendo las hembras cinco veces más eficientes (Tabla 4.1). Por su parte la especie *A. mellifera* depositó en promedio $72,25 \pm 157,4$ granos de polen por visita (Tabla 4.1).

El número de granos de polen depositado sobre los estigmas durante cada visita variaron significativamente entre las abejas de distinto tamaño, tanto al considerar a todas las especies ($\chi^2 = 34,93$; gl.= 3; $p < 0.0001$) como teniendo en cuenta solo a las especies nativas y excluyendo a *A. mellifera* del análisis ($\chi^2 = 31,34$; gl.= 3; $p < 0.0001$; Tabla 4.2). Al realizar los análisis incluyendo a las especies de abejas registradas, se observaron diferencias significativas en los contrastes a posteriori entre tres grupos principales (Figura 4.6A). Las abejas de las categorías “muy pequeñas” y “pequeñas” formaron el conjunto de las especies que depositaron la menor cantidad de polen por visita con una media y desvío estándar de $10,1 \pm 8,74$ ($n = 10$) y $37,6 \pm 76,76$ ($n = 15$) respectivamente, mientras que las abejas medianas depositaron una cantidad intermedia ($85,83 \pm 179,82$; $n = 178$) y las especies grandes depositaron la mayor cantidad de polen por visita ($301,41 \pm 479,69$; $n = 49$; Figura 4.6A). Al excluirse a *A. mellifera*, el conjunto de especies nativas ($n = 119$) presentaron una tendencia similar, pero en este caso se observaron dos grupos que difirieron significativamente entre sí, por un lado se agruparon las abejas muy pequeñas y pequeñas y por el otro, las abejas de tamaño mediano y grande por el otro (Figura 4.6 B).

Figura 4.5. Especies de abejas más importantes en la polinización de cultivos de *Cucurbita maxima* en establecimientos productivos del CHP. El eje y esta expresado en escala logarítmica (\log_{10}). Los límites de las cajas representan los valores de los cuartiles 0,25 y 0,75 de la distribución de probabilidad de las observaciones, la línea horizontal dentro de las cajas representa al valor de la mediana y las barras verticales que sobresalen de cada caja representan los percentiles 0.05 y 0.95 respectivamente. Las especies fueron ordenadas en orden creciente del valor de su mediana, donde cada punto respresenta un ensayo de eficiencia. Referencias: la línea punteada roja representa el mínimo de granos de polen mientras que la línea azul indica el óptimo estimado para el cultivo (ver Discusión).

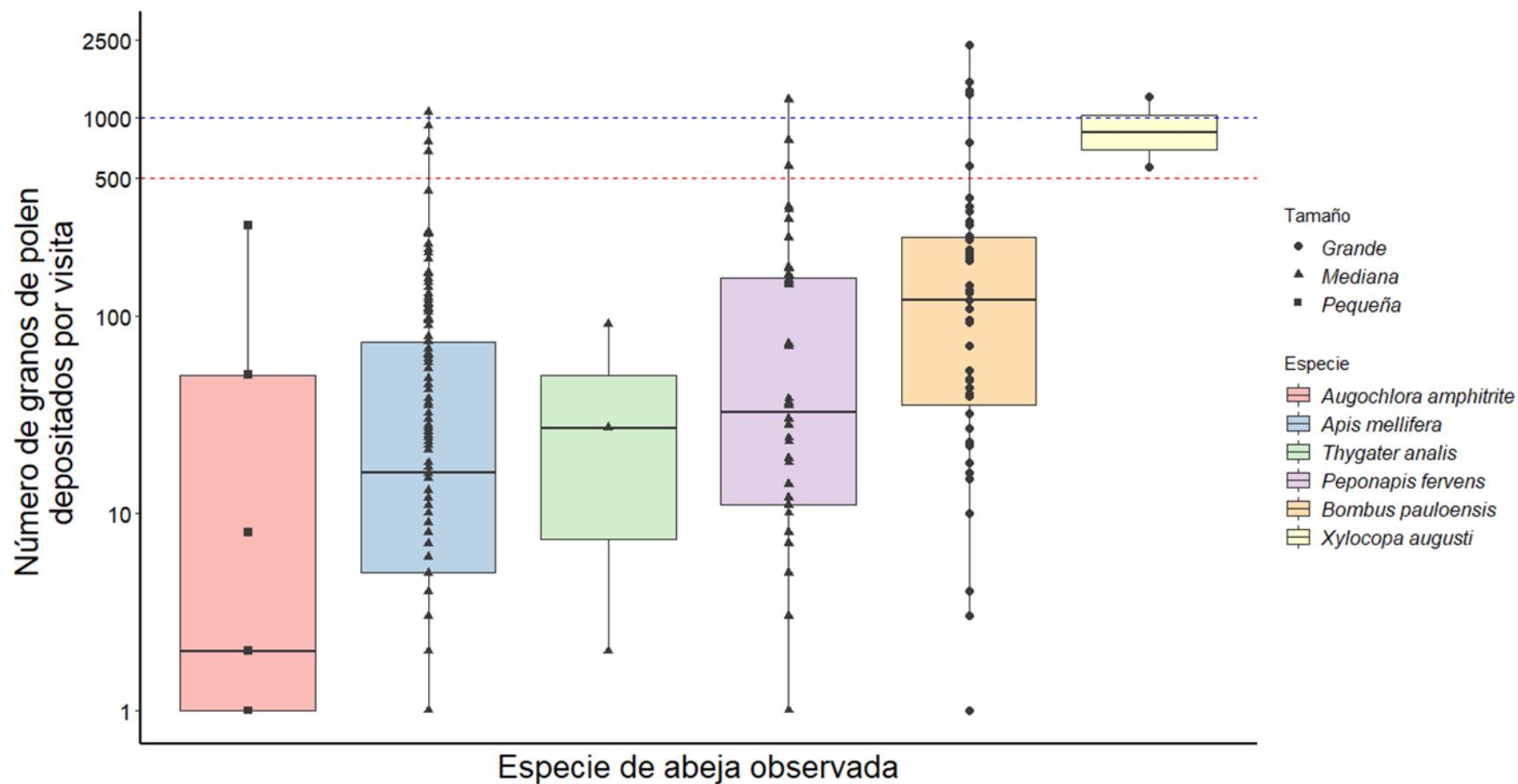


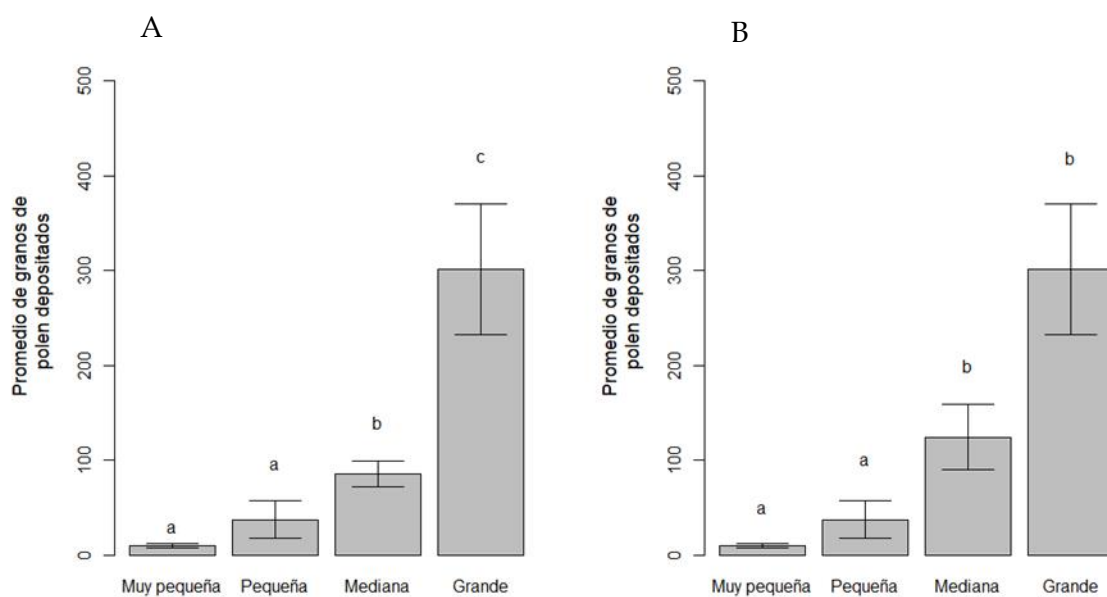
Tabla 4.2. Promedio \pm desvío estándar del número de granos de polen depositados sobre el estigma floral en una sola visita en función del tamaño corporal de las abejas. Referencias; Categoría: Muy Pequeña ($DI \geq 1,7$ mm), Pequeña ($1,71$ mm $< DI < 2,7$ mm), Mediana ($2,71$ mm $< DI < 3,7$ mm) y Grande ($DI > 3,71$ mm). Riqueza: número de especies de abejas registradas en cada categoría de tamaño; n: número de flores analizadas; Máximo: número máximo de granos de polen observados en un ensayo para cada categoría.

CATEGORIA	RIQUEZA	GRANOS DE POLEN \pm SE	n	MÁXIMO	ESTIGMAS		ESTIGMAS CON POLEN (%)
					CON POLEN	SIN POLEN	
Muy Pequeña	5	10,1 \pm 8,74	20	29	10	10	50
Pequeña	4	37,60 \pm 76,76	20	287	15	5	75
Mediana	5	85,83 \pm 179,82	210	1240	178	32	84,76
Grande	2	301,41 \pm 479,69	51	2356	49	2	96,08

El promedio general de granos de polen depositados sobre el estigma floral de *C. maxima* al considerar al conjunto de todas las especies fue de $121,41 \pm 274,89$ ($n = 252$), mientras que al excluirse del análisis a *A. mellifera* el mismo ascendió a $176,76 \pm 355,87$ ($n = 119$). De manera similar, el promedio de polen depositado por visita por abejas de tamaño mediano se incrementó al excluirse a la abeja melífera (con *A. mellifera* $85,83 \pm 179,82$; $n = 178$, sin *A. mellifera* $124,44 \pm 231,78$; $n = 45$).

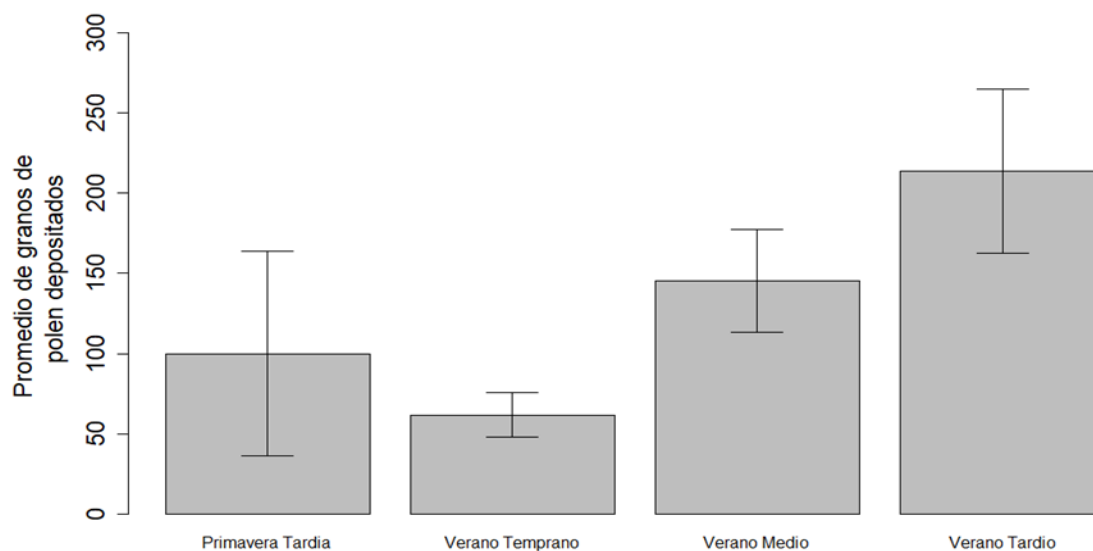
La fenología del año en la cual se realizaron los ensayos no fue una variable influyente en el número de granos de polen depositados por todas las especies de abejas ($\chi^2 = 6,02$; $gl. = 3$; $p = 0,11$) o al evaluarse solamente a las nativas ($\chi^2 = 2,18$; $gl. = 3$; $p = 0,54$), a pesar de que los ensayos estuvieron concentrados en ambas temporadas durante el verano temprano y medio, abarcando el 73,1% de los mismos. El promedio más alto observado durante el estudio fue en el Verano tardío ($213,65 \pm 298,03$) seguido por el Verano medio ($145,57 \pm 335,54$; Figura 4.7).

Figura 4.6. Gráfico de barra que representa el promedio de granos de polen depositados sobre el estigma floral por visita para cada categoría de tamaño corporal de abeja junto a su barra de error estándar asociado (\pm) observadas en cultivos de *Cucurbita maxima* durante las temporadas 2017-2018 y 2018-2019. En la figura A se observa los valores para los ensayos realizados con todas las especies de abejas que depositaron polen ($n = 252$) mientras que en la figura B se excluyó del análisis a *A. mellifera* observándose solamente a las especies de abejas nativas ($n = 141$). Letras diferentes indican diferencias significativas entre las categorías ($p < 0,05$) a partir de los test a posteriori de Tukey.



El horario en que fue depositado en promedio la mayor cantidad de polen fue entre las 12:00 hs y las 12:30 hs, dónde se registraron $\bar{x} = 310 \pm 481,72$ (\pm desvío estándar; $n = 6$) granos de polen por individuo, debido a la presencia de la especie *X. augusti* que depositó 1.277 granos de polen en una sola visita (Figura 4.8). A pesar de ello, se observó un patrón de aumento paulatino en el promedio de granos depositados desde el inicio del día hacia las 09:31hs y las 10:00 hs en donde se obtuvo un pico del promedio de 182,76 ($\pm 440,15$; $n = 34$) granos, para luego disminuir nuevamente hasta las 12:01hs (Figura 4.8). Los horarios en donde se observaron los tres mayores depósitos de polen fueron entre las 09:30 hs 10:30 hs, todas ellas producto de la actividad de la especie *B. pauloensis*.

Figura 4.7. Gráfico de barra que representa el promedio de granos de polen depositados sobre el estigma floral por visita en función de la temporada junto a su barra de error estándar asociado (\pm) en cultivos de *Cucurbita maxima* durante las temporadas 2017-2018 y 2018-2019.

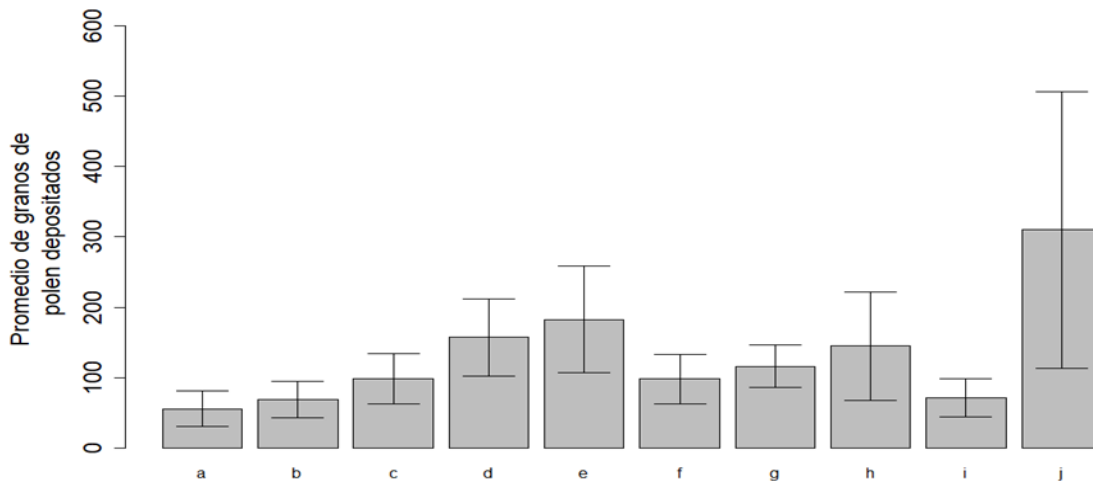


Eficacia

Para el estudio de la eficacia se realizaron 165 ensayos de los cuales 113 fueron de *A. mellifera*, 18 de *Bombus pauloensis*, 12 a *Peponapis feroens* (10 ♀; 2 ♂), uno de *Thygater analis* y entre los halíctidos, se realizaron un total de 21 ensayos de los cuales 18 pertenecieron a halíctidos de tamaño pequeño (al menos en ocho oportunidades fueron *Augochlora amphitrite*), y a *Augochlora iphigenia*, *Augochlora ephya* y *Lasioglossum hualitchu* con un solo ensayo cada una. Considerando el total

de los ensayos, fueron positivos en 78 ocasiones y no se produjeron frutos en los 87 restantes, es decir, el 47% de las flores fueron polinizadas luego de una visita.

Figura 4.8. Gráfico de barra que representa el promedio de granos de polen depositados sobre el estigma floral por visita para cada horario de estudio junto a su barra de error estándar asociado (\pm) en cultivos de *Cucurbita maxima* durante las temporadas 2017-2018 y 2018-2019. Referencias letras: a = 7:30hs-8:00hs; b = 8:01hs-8:30hs; c = 8:31hs-9:00hs; d = 9:01hs-9:30hs; e = 9:31hs-10:00hs; f = 10:01hs-10:30hs; g = 10:31hs-11:00hs; h = 11:01hs-11:30hs; i = 11:31hs-12:00hs; j = 12:01hs-12:30hs.



Sin embargo, de los frutos cuajados solo ocho alcanzaron un tamaño de cosecha promedio mientras que la mayoría fueron pequeños y de poco desarrollo (peso < 100 gr; diámetro < 55mm). Los frutos cuajados normalmente pertenecieron solo *A. mellifera* y *B. paulensis*, con cuatro ensayos cada especie respectivamente. Los ensayos de polinización libre arrojaron que de 111 flores marcadas, el 83,78% de ellas (n = 93) se transformaron en frutos, de los cuales solo 57 (51%) fueron normales y el resto no aptos para su venta (31 pequeños y 5 deformes). En los ensayos de controles negativos, donde se excluyeron a los polinizadores, se constató que en ningún caso se produjo fructificación (n = 22). También fueron realizados 10 ensayos de eficacia en cultivos *C. moschata* donde se registró una visita de *A. mellifera* y el resto fueron halíctidos (5 pequeños y 4 muy pequeños), de los cuales en el 100% de los casos no se produjeron frutos, a diferencia de lo que ocurrió en 10 ensayos de polinización libre del mismo cultivo en donde fructificaron fue del 90%.

Importancia de los polinizadores

Las especies con mayor índice de importancia en el cultivo fueron tres pertenecientes a la familia Apidae, donde la especie *A. mellifera* tuvo el mayor índice de importancia (53,55), seguida por *P. fervens* con un valor de 18,6 y *B. pauloensis* con 14,2 respectivamente. El resto de las abejas tuvieron valores de importancia inferiores a 4, entre las que se destacan las especies *X. augusti*, *Augochlora amphitrite* y *Thygater analis* (Figura 4.9). Al considerar el período del año en que se registraron las especies de abejas forrajeando sobre el cultivo, se observan variaciones temporales en el orden de importancia de las mismas, siendo *A. mellifera* la especie más importante durante el inicio de la floración durante la primavera tardía y el verano temprano (Índice = 68,07 y 61,1 respectivamente; Figura 4.10). Posteriormente, las especies de abejas nativas *P. fervens* fue la más importante durante el verano medio y cuyo valor calculado fue el único que sobrepasó al valor de *A. mellifera* (48,04 vs. 34,26). Hacia el final de la temporada (verano tardío) la especie más importante volvió a ser la abeja melífera (valor de importancia = 50,72) mientras que *B. pauloensis* se ubicó en el segundo lugar con un valor de 46,28. Por último, la especie *X. augusti* fue la que presentó una importancia más conspicua durante el verano temprano en relación a las especies *A. amphitrite* y *T. analis* (Figura 4.10).

Figura 4.9. Índice de importancia en la polinización para las especies de abejas registradas en flores de *Cucurbita maxima* a lo largo de toda la temporada del cultivo. El índice fue calculado a partir del producto entre la cantidad promedio de granos de polen depositados en una visita por la especie i y su abundancia relativa. Referencias: la línea punteada representa el valor del índice de importancia = 5.

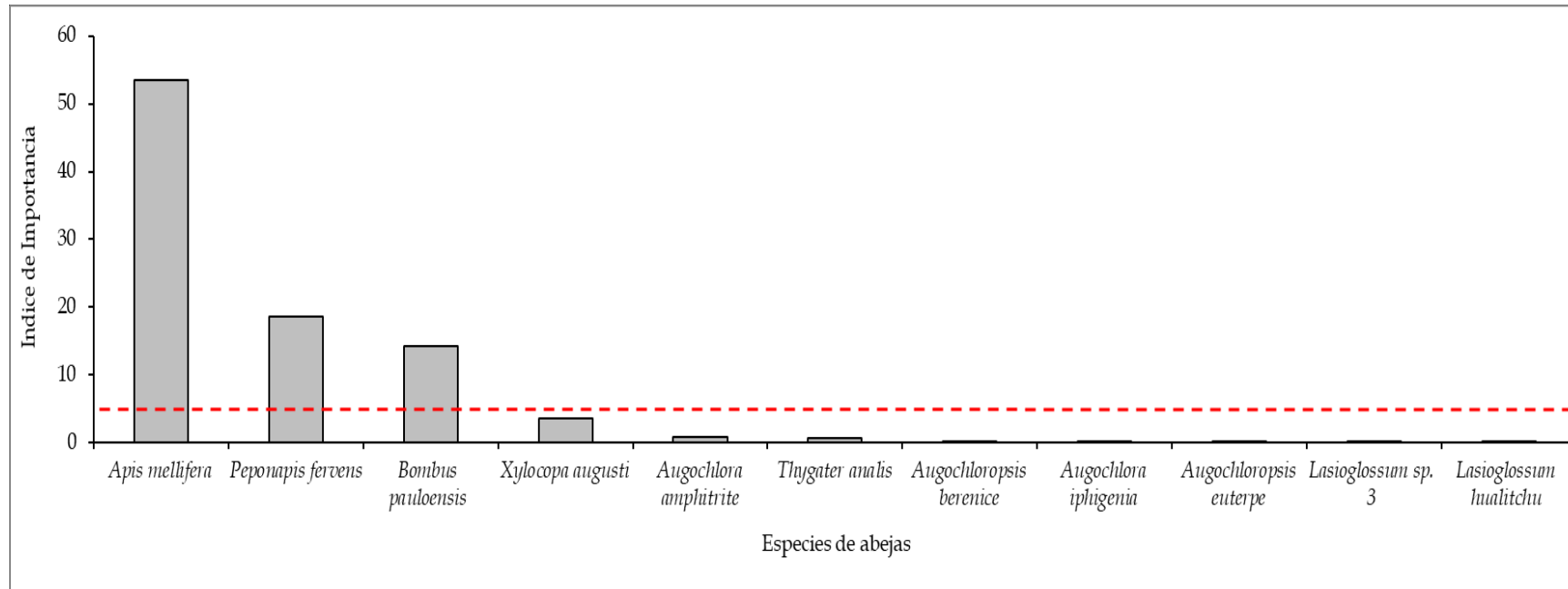
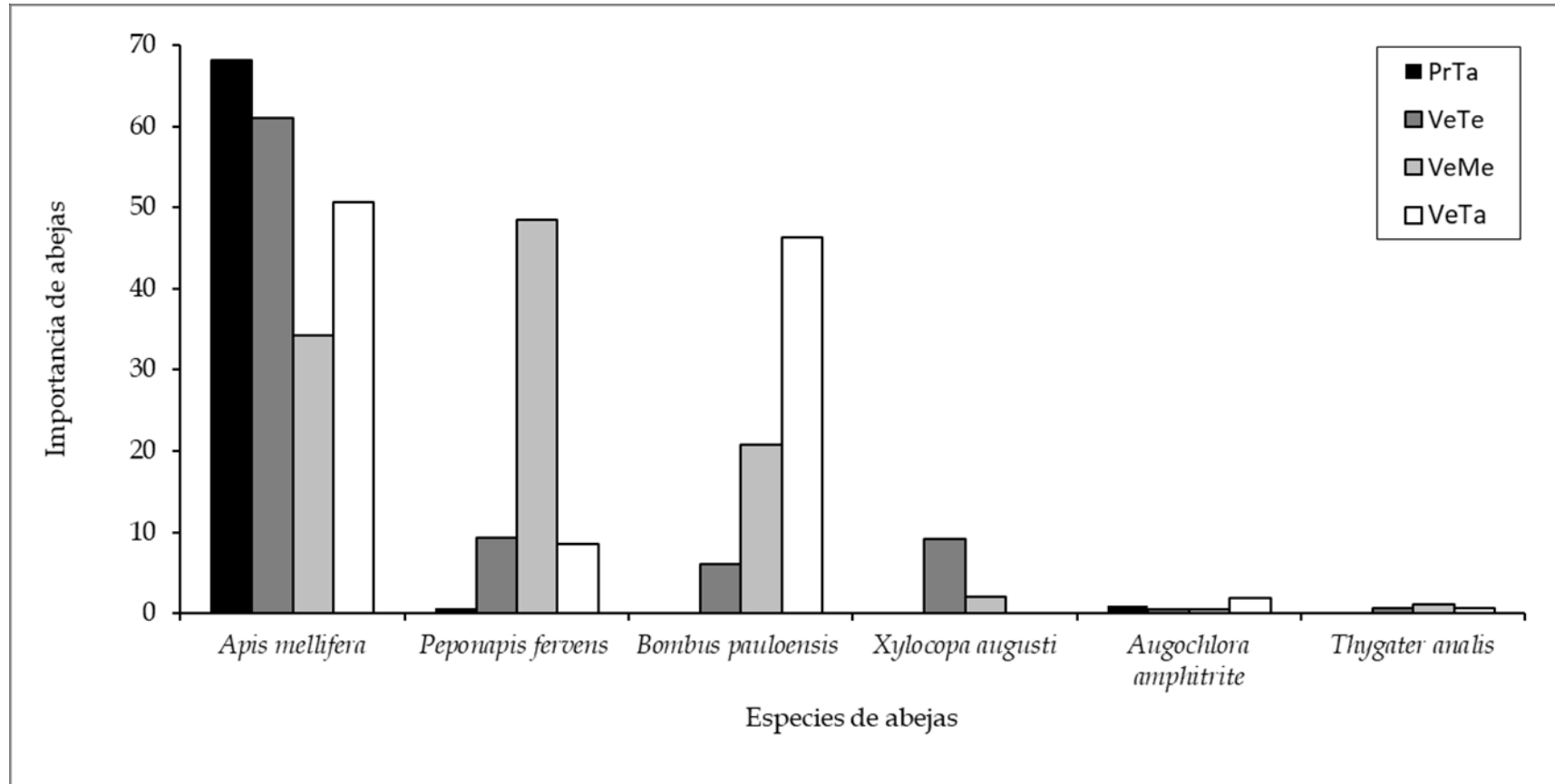


Figura 4.10. Índice de importancia en la polinización para las especies de abejas más abundantes registradas en flores de *Cucurbita maxima* durante cada período observado. El índice fue calculado a partir del producto de la cantidad promedio de granos de polen depositados de la especie *i* con su abundancia relativa, con cada período de observación separado para su comparación. Leyenda: PrTa: primavera tardía, VeTe: verano temprano, VeMe: verano medio, VeTa: verano tardío.



Discusión

Durante el estudio de la polinización de cucurbitáceas, se ha observado una consistencia en las familias de abejas registradas tanto para los ensayos de eficacia como de eficiencia. A saber, tanto la familia Apidae como la familia Halictidae estuvieron representadas por ocho especies cada una, superando la riqueza de abejas observada en trabajos previos realizados en el país sobre dichos cultivos (Terán, 1965; Passarelli, 2002). Conforme a la predicción propuesta se observó que las especies de abejas de mayor tamaño corporal depositan un mayor número de granos de polen sobre los estigmas florales en cada visita, en concordancia con trabajos previos sobre diferentes cultivos de cucurbitáceas (Hoehn *et al.*, 2008; Krug *et al.*, 2010; Serra & Campos, 2010; Artz & Nault, 2011; Pfister *et al.*, 2017). En promedio las especies grandes depositaron 30 veces más polen que las abejas muy pequeñas, ocho veces más que las de tamaño pequeño, y 3,5 y 2,4 veces más que las especies de tamaño mediano incluyendo a la abeja melífera o no, respectivamente. Las especies de gran tamaño como *B. pauloensis* y *X. augusti* depositaron en promedio más polen que el resto de las abejas, hecho que ha sido registrado previamente para el género *Bombus* en comparación con la abeja melífera y las especies de abejas oligoléticas de *Cucurbita* como *Peponapis* spp. (Artz & Nault, 2011; Pfister *et al.*, 2017). Este patrón de depósito de polen según el tamaño corporal ha sido observado también en cultivos de *Cucurbita pepo*, donde la especie de abejorro *B. impatiens* (Cresson) depositó alrededor de tres veces más polen luego de una sola visita que las especies *A. mellifera* y *Peponapis pruinosa* (Artz & Nault, 2011), hecho que coincide con los resultados obtenidos al tener en cuenta al conjunto de las abejas de tamaño “mediano”.

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de eficiencia demostraron que *Bombus pauloensis* depositó en promedio casi cuatro veces más granos de polen en una visita que *A. mellifera*. A pesar de ello, los depósitos realizados por el abejorro fueron menores a los registrados previamente en cultivos de *C. maxima* var. Hokkaido para otras especies del género *Bombus* (*B. terrestris* y *B. lapidarius*) e incluso de la especie *A. mellifera* (Pfister *et al.*, 2017). Tales diferencias observadas con este estudio se pueden deber principalmente a que son diferentes variedades del cultivo, con lo cual podrían diferir en la cantidad de recursos florales que producen, ya que por ejemplo *A. mellifera* en el trabajo depositó en promedio

582 granos de polen (n=43; Pfister *et al.*, 2017), unas ocho veces menos que en esta investigación, teniendo en cuenta que es la misma especie de abeja. Por otro lado, también hay que tener en cuenta que las especies del género *Bombus* observadas por Pfister *et al.* (2017) difieren de la observada en esta tesis, con lo cual no solo presentan diferente morfología, sino que también pueden presentar diferentes comportamientos dentro de las flores, lo que explicaría también la diferencia en el depósito de polen observado.

Al comparar los valores de eficiencia entre especies de abejas del mismo tamaño, trabajos previos han encontrado valores similares entre las abejas medianas *A. mellifera* y *Peponapis pruinosa* (Artz & Nault, 2011). En este trabajo se observó que entre las abejas medianas, *P. fervens* fue más eficiente que *A. mellifera*, y al discriminar entre machos y hembras de *P. fervens*, la eficiencia de las hembras fue similar a especies de gran tamaño como *Bombus pauloensis*.

Las especies de abejas que presentaron tamaños corporales pequeños depositaron en promedio menores cantidades de polen por visita que las de tamaños superiores, lo cual coincide con lo registrado previamente entre especies de halíctidos y especies del género *Bombus* o incluso *A. mellifera* (Pfister *et al.*, 2017). La mayoría de las abejas pequeñas pertenecen a la familia Halictidae excepto *Ceratina rupestris* de la familia Apidae. A pesar de sus limitaciones en el proceso de transporte y depósito de polen de cucurbitáceas debido en parte al tamaño del grano de polen en relación a tales abejas (Hurd *et al.*, 1971), es de destacar que son agentes que intervienen en el proceso de polinización de las cucurbitáceas y su aporte se vuelve significativo en ausencia de polinizadores de gran tamaño. Como ejemplo de esto, Rodrigo Gómez *et al.* (2016) han registrado especies del género *Lasioglossum* (Halictidae) como potenciales polinizadores de cultivos de *Cucumis melo* (melón) y *Citrullus lanatus* (sandía) ya que su período de actividad coincide con la fenología floral de dichos cultivos. Otra característica importante es que demostraron gran abundancia sobre los cultivos (siendo considerada como una especie dominante en algunos casos) y presentando gran actividad entre flores femeninas y masculinas, sugiriendo su importancia en el transporte de polen entre las flores del cultivo en ausencia de otras abejas polinizadoras o cuando las mismas son poco abundantes (Rodrigo Gómez *et al.*, 2016).

Dentro de las especies de pequeño tamaño se encuentra *A. amphitrite* cuyo valor de depósito promedio de polen resulta semejante a lo observado para las abejas de tamaño mediano *Thygater analis* y los machos de *P. fervens*. La performance de *A. amphitrite* no solo abarca la cantidad de granos de polen que deposita, sino también en su elevado porcentaje de depósito efectivo de polen (por encima del 64% de las veces). Esto último puede deberse tanto a la capacidad máxima de granos de polen que puede transportar en su cuerpo (escopas y resto del cuerpo) como al contacto efectivo que pueda tener con diferentes partes del estigma floral y con la región del cuerpo con que las contacta o una suma de todos los factores. Es por ello que a pesar de su pequeño tamaño su presencia en sobre cultivos de *C. maxima* hacen posible destacarla como una especie importante en la polinización del cultivo en el área de estudio.

En concordancia con lo que se ha observado previamente sobre polinización de Cucurbitáceas, las abejas del género *Peponapis* (en este caso *P. fervens*) depositaron una mayor cantidad de polen en comparación con *A. mellifera* (Canto-Aguilar & Parra-Tabla, 2000). La gran cantidad de granos de polen que depositan en particular las hembras de *P. fervens* se asocia a una mayor carga polínica presente en el cuerpo de las abejas producto de su constancia y fidelidad sobre el cultivo, y además de que el polen se encuentran disponibles para ser transferidas al estigma floral a diferencia de la que porta la especie melífera (Hurd *et al.*, 1971; Krug *et al.*, 2010; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018). Otra característica importante de la especie es que las hembras cosechan activamente polen de flores masculinas para alimentar a sus crías a diferencia de la abeja melífera cuya incorporación de polen de cucurbitáceas en su cuerpo responde a una cosecha pasiva e involuntaria al ingresar a las flores en busca de néctar. Este mismo comportamiento realizado por la especie *A. mellifera* fue observado en la mayoría de las especies de abejas nativas al ingresar a la flores masculinas para alimentarse. Como fue mencionado en el Capítulo III las únicas abejas nativas que fueron observadas colectando activamente polen en flores masculinas fueron *P. fervens*, *A. amphitrite* y *Melissodes tintinnans*, el resto de las abejas solamente hicieron uso del néctar que ofrecieron las flores. Sin embargo, los resultados obtenidos difieren a lo observado en trabajos previos para la especie *A. mellifera* cuyas obreras visitaban flores masculinas para coleccionar tanto néctar como polen (Nicodemo *et al.*, 2009). Esta diferencia puede deberse a una mayor preferencia polínica

hacia otras especies de planta presentes en los establecimientos. También se ha observado durante los ensayos que las especies de tamaños medianos y grandes pueden contactar el estigma floral tanto con su parte ventral como dorsal, mientras que las especies de menor tamaño solo contactaron con el estigma por su parte ventral al caminar sobre el mismo. Estas diferencias podrían ser una variable que explique el grado de depósito para cada tamaño de abejas, por lo que futuras investigaciones deberían tener en cuenta el comportamiento de cada especie dentro de las flores tanto masculinas como femeninas y como el mismo afecta en última instancia, a la polinización del cultivo.

Al comparar los granos de polen depositados entre los machos y las hembras de *Peponapis fervens* encontramos que los primeros depositan en promedio alrededor de cinco veces menos polen que las hembra (49,95 vs. 237,53 granos de polen), coincidiendo con reportes previos para dicho género (Canto-Aguilar & Parra-Tabla, 2000). Así mismo, es interesante destacar su importancia sobre los cultivos de *C. maxima* debido a su gran actividad y porque fue capaz de depositar polen en el estigma floral en el 84% de las flores analizadas. Tales valores resultan coincidentes con las características comportamentales de la especie donde se ha observado a los machos muy activos entre las flores y pueden permanecer largos períodos dentro de las flores masculinas de cucurbitáceas en busca de néctar o esperando la presencia de hembras para aparearse (obs. personal). Estos patrones les permiten coleccionar pasivamente granos de polen en su cuerpo y luego depositarlos en los estigmas al visitar flores femeninas. Por otro lado, también ha sido propuesto que al permanecer los machos dentro de las flores masculinas luego del cierre de las mismas para refugiarse hasta el próximo día, los mismos se cargan de polen y al siguiente día visitan nuevamente tanto flores masculinas como femeninas (Hurd *et al.*, 1971). Resultados similares acerca del rol que cumplen los machos de este género de abejas en la polinización de cucurbitáceas ha sido observado previamente (Canto-Aguilar & Parra-Tabla, 2000; Cane *et al.*, 2011; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018). En cultivos de zucchini (*C. pepo*) se ha observado que la transferencia de polen a partir de los machos de la especie *P. pruinosus* provocó la formación de semillas y el desarrollo posterior del fruto cuando a través de visitas sucesivas de los mismos a flores femeninas (al menos 5 visitas) transfieren la cantidad de polen necesario sobre el estigma de forma acumulativa, pudiendo incluso complementar el desempeño de las hembras de la misma especie en la polinización del

cultivo (Cane *et al.*, 2011). También se ha registrado que si bien el cuajado del fruto fue similar (peso y diámetro) al comparar cinco visitas de machos y una sola de hembra de *P. pruinosus*, el número de semillas desarrolladas fue estadísticamente inferior para los primeros (Cane *et al.*, 2011).

Durante los ensayos se pudo observar un importante cambio en las fenología de las especies que visitaron el cultivo, tanto en el número de especies registradas como en la abundancia de las mismas. Durante la primavera tardía y el verano temprano, la especie más registrada fue *A. mellifera*, mientras que durante el verano medio la especie que se vuelve más abundante es *P. fervens*, para luego ceder nivel de importancia a *B. pauloensis* y *A. mellifera* hacia el verano tardío. El horario en el cual se realizaron los ensayos no fue una variable influyente en el número de granos de polen depositados por el conjunto de abejas polinizadoras. A pesar de ello, se observó una tendencia al aumento paulatino en el promedio de granos depositados desde el inicio del día hacia las 09:31hs y las 10:00hs en donde se obtuvo un aumento apreciable de la cantidad de polen depositado para luego disminuir nuevamente hasta las 12:01hs en donde se observó un segundo incremento. *B. pauloensis* fue la responsable de los tres ensayos con mayor número de granos de polen depositados ocurriendo los mismos entre las 09:00hs y las 10:00hs. En relación a esto último, estudios previos sobre la biología floral de *C. maxima* han observado que los estigmas florales permanecen receptivos hasta después de las 13:00hs pudiéndose extender hasta las 14hs, y que la viabilidad del polen fue superior al 90% a las 09:00hs (Nicodemo *et al.*, 2007), mientras que la viabilidad de los mismos decae al 75% para las 13:00hs (Pfister *et al.*, 2017).

De los ensayos de eficacia se desprende que a pesar de las visitas de abejas solo el 4,6 % de las visitas produjeron frutos comparables con aquellos producidos por polinización libre y en el resto no se produjo la correcta polinización, dando como resultado frutos abortados, deformes o incluso frutos pequeños y poco desarrollados no aptos para su cosecha, tanto para *C. maxima* como para *C. moschata*. Una explicación a este fenómeno puede estar relacionada a los requerimientos mínimos de polen necesarios para la correcta polinización de la flor y que los mismos no serían cumplidos con una única visita. Al comparar los resultados con los obtenidos por Pfister *et al.*, (2017) sobre cultivos de *C. maxima* var Hokkaido se observa que para tal cultivo se requirió un mínimo de 500 granos

de polen para producir el correcto cuajado del fruto y que el mismo alcance un desarrollo apto para su venta, mientras que para maximizar la producción (cuajado > 95%) son necesarios alrededor de 2.500 granos de polen por flor. Lo mismo fue observado por Nicodemo *et al.* (2009) sobre cultivos de la misma especie en donde se verificó que para lograr un mayor porcentaje de cuajado de fruto y una mejor calidad del mismo las flores femeninas necesitaron recibir 16 visitas de *A. mellifera*. Dichos estudios indican que es necesario el depósito de una gran cantidad de granos de polen para que se produzca el cuajado normal del fruto debido a que las cucurbitáceas en general presentan una gran cantidad de óvulos por ovario. Si se comparan estos resultados con los obtenidos aquí vemos que la tendencia se repite ya que en promedio la mayoría de las especies de abejas depositaron al menos la mitad de la cantidad de polen requerido para una correcta polinización. Resultados similares han sido obtenidos en cultivos de *C. moschata* y *C. pepo* luego de una sola visita entre la que se encuentran la especie *A. mellifera* y especies de abejas pertenecientes a los géneros *Bombus* y *Peponapis* entre otros (Serra & Campos, 2010; Artz & Nault, 2011; Cane *et al.*, 2011).

Investigaciones previas estimaron que los cultivos de *C. maxima* son necesarios alrededor de 4 granos de polen por óvulos para la fertilización de los mismos (Pfister *et al.*, 2017) y dado que el cultivo presenta en promedio unos 250 óvulos por ovarios (Passarelli, 2002), serían necesarios alrededor de 1000 granos de polen para polinizar correctamente cada flor femenina. Teniendo en cuenta que el mínimo observado de granos de polen necesarios para obtener un correcto cuajado del fruto en una variedad de *C. maxima* no presente en el área de estudio (var. Hokkaido; Pfister *et al.*, 2017) fue cercano a los 500 granos y tomando tal valor como límite mínimo para la fertilización de la mitad de los óvulos del cultivo, a excepción de la especie *X. augusti*, ninguna especie de abeja aquí observada podría alcanzar al mínimo de depósito de polen en promedio con una sola visita que necesitaría el cultivo. Sin embargo, las especies *A. mellifera*, *P. fervens* (♀) y *B. pauloensis* presentaron individuos que eventualmente presentaron depósitos por encima de los 500 granos de polen e incluso llegando a depositar más de 1000 granos de polen, en cuyo último caso sería suficiente para fertilizar la totalidad de los óvulos presentes en un ovario del cultivo. A partir de los resultados obtenidos de eficiencia promedio para cada especie de abeja serían necesarias al menos dos visitas de *B. pauloensis* o de *P. fervens* ♀ por

flor femenina para la producción de un fruto normal, o de siete de *A. mellifera* u 11 de *Augochlora amphitrite*, *Thygater analis* o *P. feroens* ♂, mientras que para alcanzar el óptimo de depósito y polinizar la totalidad de los óvulos se necesitarían al menos 4 veces más visitas.

Importancia

Del elenco de abejas que visitan los cultivos de *C. maxima* en el CHP se puede concluir que las especies pertenecientes a la familia Apidae (*Apis mellifera*, *Peponapis feroens*, *Bombus pauloensis*, *Xylocopa augusti* y *Thygater analis*) junto al halíctido *Augochlora amphitrite* fueron las más importantes en la polinización del cultivo. La importancia de *A. mellifera* en la polinización del cultivo ha sido registrada previamente y coincide con los resultados aquí obtenidos (Pasarelli, 2002; Nicodemo *et al.*, 2009; Pfister *et al.*, 2017). En referencia a las especies nativas *P. feroens*, *B. pauloensis* y *Xylocopa augusti*, en este trabajo ha sido observado su gran importancia para el cultivo al contribuir de manera efectiva en la polinización. Esto surge de sumar los valores de importancia de las especies de abejas nativas con un índice superior a 1 para el verano medio y para el verano tardío por separado, tales índices alcanzan valores de 72,17 y 56,77 respectivamente, lo cual indica la gran importancia de las especies nativas durante ambos períodos, superando en conjunto ampliamente los valores obtenidos para *A. mellifera* solamente. Al considerar a cada especie de abeja por separado *A. mellifera* resulto ser la más importante como consecuencia del gran número de visitas que realiza al cultivo, sumado al nivel de depósito de polen que produce. Además, debido a su comportamiento social y a alto requerimiento de néctar por parte de las obreras resulta ser la especie con más constancia sobre el cultivo durante toda la temporada de este. De las especies nativas se observó al menos dos especies (*P. feroens* y *B. pauloensis*) cuya actividad en la polinización de los cultivos es muy importante en determinados momentos de la temporada asociado nuevamente a sus ciclos de vida específicos. Por otro lado, la especie social *B. pauloensis*, aumenta paulatinamente su número de individuos hacia el verano tardío, momento en el cual disminuye la actividad de *P. feroens* y esta abeja nativa se vuelve más importante en el cultivo. Además de ello, se han registrado otras especies de abejas nativas que a pesar de ser poco abundantes o

depositar un bajo número de granos de polen en sus visitas, igualmente aportan en la polinización del cultivo. Esta complementariedad temporal de las abejas sobre el cultivo favorece su polinización a lo largo de las temporadas hecho que ya fue observado sobre cultivos de *C. moschata* y *Citrullus lanatus* (“zapallo anco” y “sandía” respectivamente; Hoehn *et al.*, 2008; Pisanty *et al.*, 2016; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018). Esto podría asociarse a la utilización parcial del recurso que promueven las cucurbitáceas por parte de los diferentes grupos funcionales de abejas que las visitan, sugiriendo que una comunidad rica en especies de polinizadores aportaría un mejor servicio de polinización comparado con a una comunidad con pocas especies eficientes en el depósito de polen (Hoen *et al.*, 2008; Garibaldi *et al.*, 2013). Es por ello interesante el hecho de que se observaron tres especies de abejas pertenecientes a la familia Apidae que no habían sido reportadas previamente durante los ensayos de diversidad en el cultivo y que aportaron a la polinización del mismo, en particular la especie *Ceratina rupestris* que depositó gran cantidad de polen en promedio a pesar de su tamaño. Finalmente, es importante remarcar que si bien la abeja *A. mellifera* es considerada como una especie importante en la polinización de numerosos cultivos, un aumento en la diversidad de polinizadores nativos en diversos cultivos mejoran la polinización complementando la actividad de la abeja de la miel (Garibaldi *et al.*, 2013).

La especie *X. augusti* visita los cultivos depositando una gran cantidad de polen, sin embargo, su abundancia en los mismos fue relativamente baja debido a que es una especie solitaria con períodos de vuelo acotados a su ciclo de cría (Lucia *et al.*, 2017, 2020). Debido a que en otros países especies de este género se comportan como excelentes polinizadores de cucurbitáceas (Sihag, 1993), sería recomendable implementar acciones de manejo de esta especie y de otras del género para incrementar su presencia en dichos cultivos.

ANEXO

Figura 4.1. Metodología utilizada para embolsar botones florales para realizar los ensayos de polinización. Referencias: a, bolsa de voile y estructura plástica utilizada para los ensayos; b, búsqueda y elección del botón floral próximo a su apertura; c-e, procedimiento de embolsado y atado de la estructura de exclusión por debajo del ovario floral.

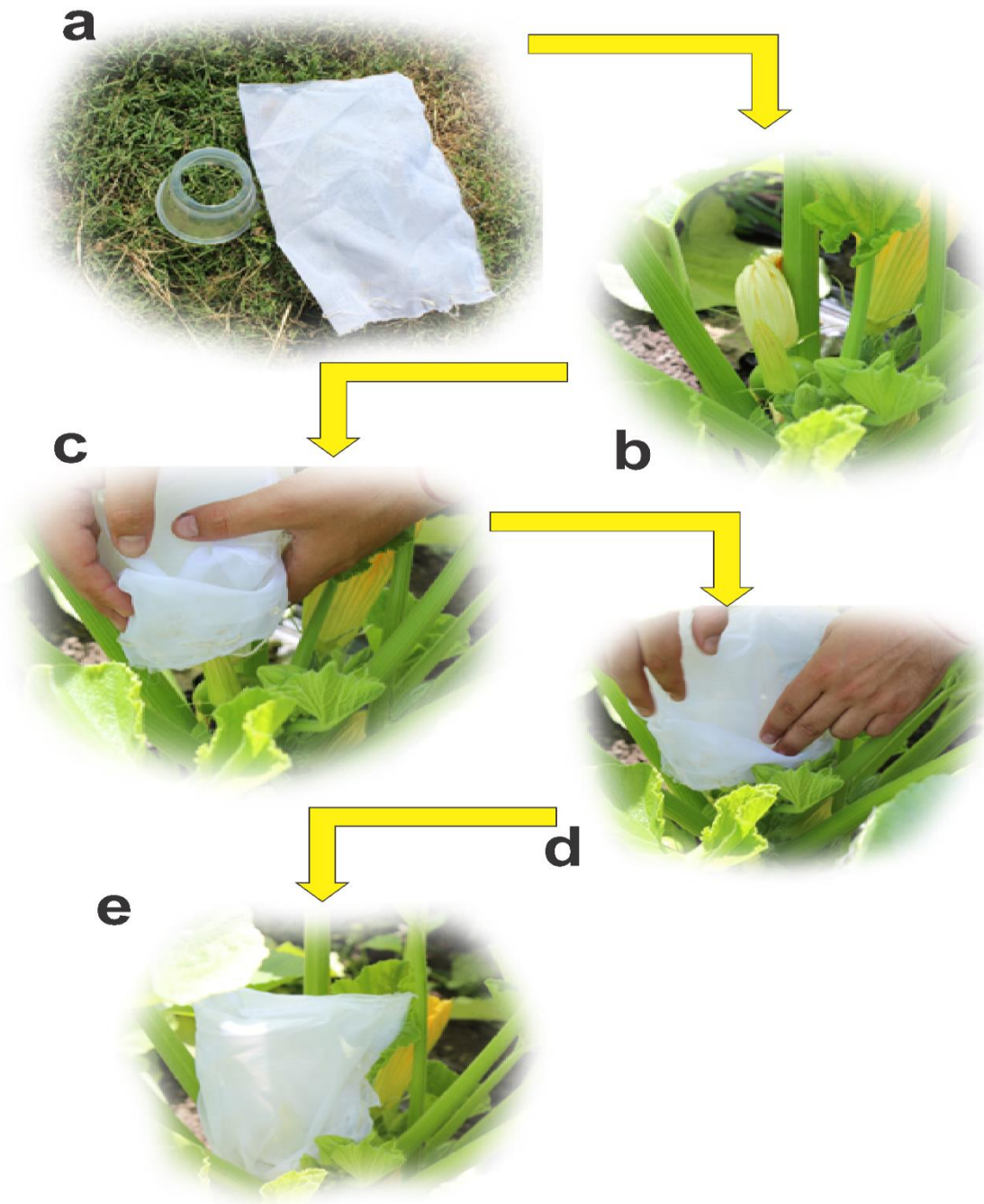


Figura 4.2. Metodología utilizada para desembolsar las flores una vez ocurrida la antesis floral. Referencias; a, estado del botón floral excluido el día previo y confirmación de su apertura; b, liberación del amarre en la base de la flor para quitar el voile; c, retiro cuidadoso de la estructura de exclusión evitando dañar a la flor femenina (se aprecia la estructura plástica por dentro de la bolsa de voile); d. flor femenina completamente abierta y lista para realizar los ensayos de polinización.

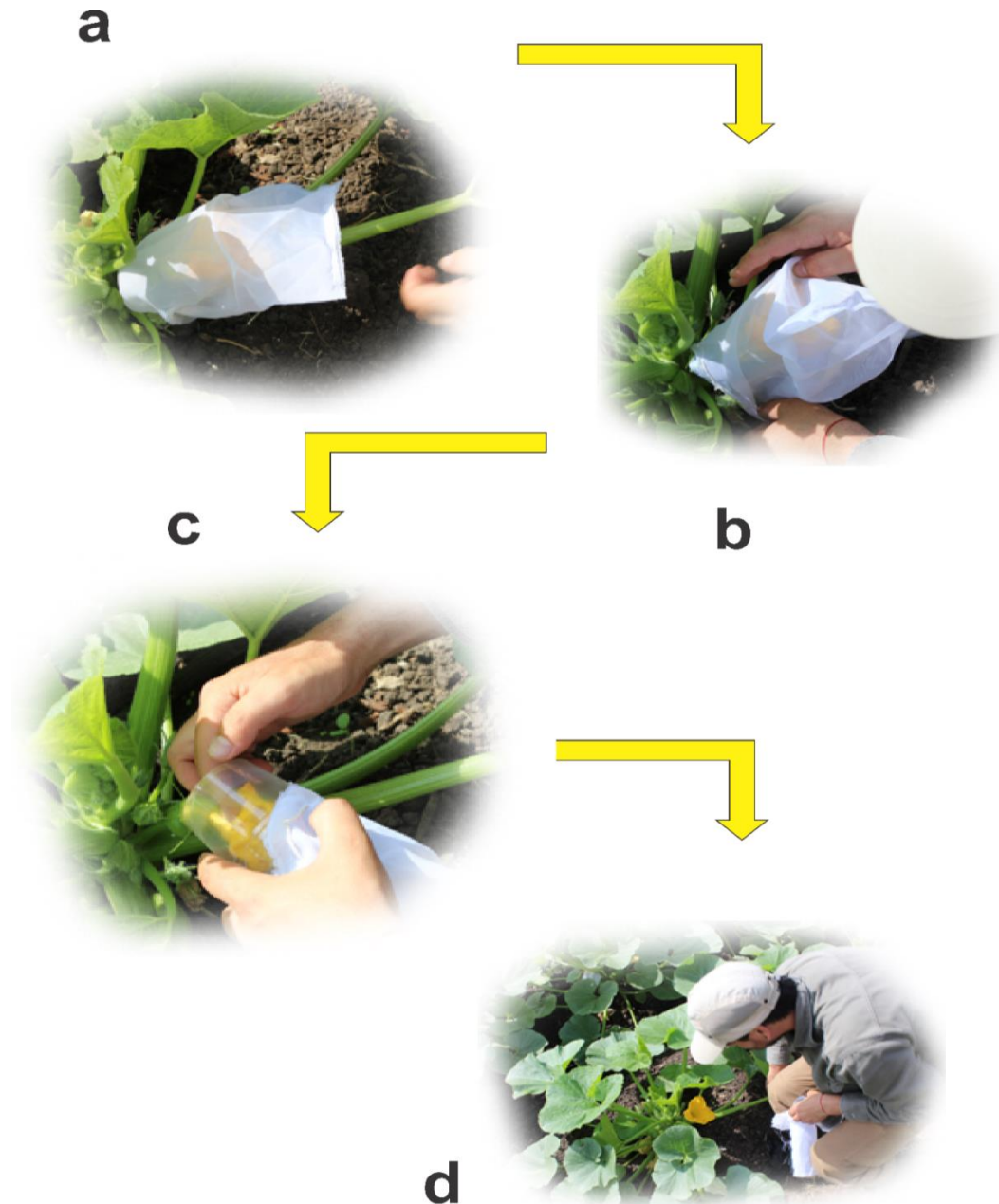


Figura 4.3. Estigmas florales de *Cucurbita maxima* Duch. con granos de polen adheridos, antes y después de la tinción con safranina. Referencias: A, estigma previo a la tinción con safranina; B, estigma coloreado; C, estigma sin colorear; D, misma imagen luego de la tinción; E, estigma obtenido a partir de un corte sagital del mismo y extendido para facilitar el recuento de polen; F, polen adherido en el estigma post tinción.

A



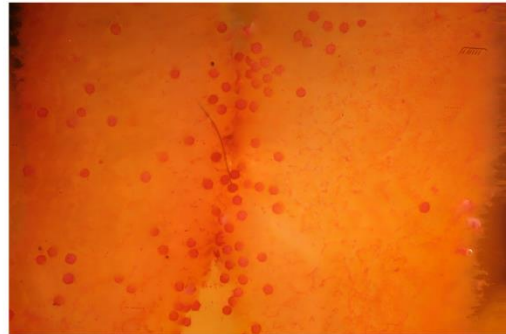
B



C



D



E



F



CAPITULO V

DISCUSIÓN FINAL

Diversidad y riqueza de abejas en el área de estudio y en establecimientos con distinto manejo agrícola

Durante el estudio en establecimientos productivos del CHP se ha registrado un gran número de especies de abejas visitando flores sobre la vegetación espontánea y en los cultivos de cucurbitáceas. Las familias de abejas observadas fueron Andrenidae, Apidae, Colletidae, Halictidae y Megachilidae, sumando un total de 83 especies de abejas registradas para el área de estudio. Las cinco familias de abejas estuvieron presente en la vegetación espontanea (bordes) y solo dos de ellas estuvieron en el cultivo (Apidae y Halictidae). Del total de especies de abejas ($S = 83$), 79 estuvieron presentes en flores de la vegetación espontánea de los bordes de cultivos, mientras que 19 se registraron sobre los cultivos, solo 15 de ellas estuvieron presentes en las dos áreas estudiadas. Las cuatro especies observadas exclusivamente en el cultivo fueron *Alloscirtetica baeri*, *Melitoma segmentaria*, *Peponapis fervens* y *Ptilothrix relata*, siendo todas abejas silvestres pertenecientes a la familia Apidae. Debido a que las curvas de rarefacción no han alcanzado el número máximo de especies presentes en los establecimientos, junto a la gran diversidad de abejas y de especies vegetales en el área de estudio, las listas aquí presentadas son de carácter provisorio pudiéndose ampliar en futuros estudios.

Diversidad y riqueza de abejas presentes en flores del borde de cultivo

La riqueza de abejas observadas en bordes de cultivos del CHP varió según los períodos de actividad registrando las mayores riquezas durante el verano medio y tardío. La presencia de diferentes especies a lo largo de las temporadas se debe principalmente al ciclo de vida de cada especie en particular que determina que algunas abejas sean observadas durante el transcurso de la primavera mientras que otras lo hacen durante el verano. Asociado a ello, la abundancia de las especies está directamente relacionada a su hábito social, las especies sociales fueron más abundantes que las solitarias. La actividad de las cinco familias de abejas registradas, fluctuaron a lo largo de las temporadas mostrando tendencias unimodales excepto para la familia Halictidae que presentó dos aumentos de riqueza separados. La familia Halictidae presentó la mayor cantidad de especies durante casi toda la temporada, siendo superada solamente por la familia Apidae

durante la primavera tardía momento en que se registró el pico en la riqueza de esta última.

Los valores de diversidad de abejas observados en los establecimientos fueron variables, entre los mismos y entre los años estudiados, aunque al utilizar los datos obtenidos para generar los modelos estadísticos no se han observado diferencias entre los distintos manejos agrícolas. A pesar de ello, durante la primera temporada (2015-2016) los establecimientos orgánicos presentaron los mayores valores de diversidad y equidad superando a los establecimientos con manejo convencional. Sin embargo, la mayor riqueza de abejas fue registrada para uno de los establecimientos convencionales, lo cual puede deberse a que el mismo presentaba áreas bien delimitadas con una gran riqueza de especies vegetales en una región acotada a diferencia del resto donde los mismos estaban dominados por pocas especies de plantas. Esta característica particular podría determinar que dicha área sea la principal fuente de recursos utilizada por las abejas, lo cual permitió concentrar las especies de abejas en ese sitio siendo más fácil observar una mayor cantidad de especies. Futuros estudios podrán determinar el rol que cumplen regiones específicas de alta diversidad de recursos frente a otras de moderada y baja diversidad dentro de cada establecimiento en particular.

Durante la segunda temporada de estudio (2016-2017) la tendencia en la diversidad fue similar, los establecimientos en transición agroecológica junto a los orgánicos fueron los más diversos, relegando a los convencionales con los menores valores (excepto para el establecimiento CMO 2 que presentó el mayor número de especies registradas en la temporada ($S = 33$) pero un bajo valor de diversidad). Es interesante destacar que los dos sitios que tuvieron mayor diversidad (H') en cada temporada, CMO 1 y CMT 2, presentaron una baja proporción de abundancia de abejas silvestres (P_i) en relación al número de individuos de *A. mellifera*. Las especies que afectaron principalmente a estos valores fueron la abejas *Lasioglossum hualtichu* para el establecimiento orgánico y *Melissodes tintinnans* para el establecimiento en transición. Esto último es interesante ya que si bien ambas especies nidifican en el suelo (Michener, 2007; Obs. personal), el hecho de observar a *M. tintinnans* en gran cantidad en CMT 2 puede estar asociado principalmente a los requerimientos que presenta la especie para nidificar. La presencia de esta especie en detrimento de otras podría explicarse por el rol que cumplen las

condiciones ambientales que rodean a los nidos y que actúan como limitantes para la nidificación en el suelo de diferentes especies, entre las que se encuentran el tipo y textura de suelo, humedad del mismo, pendiente del terreno y cobertura vegetal que los rodea (Westphal *et al.*, 2003; Shuler *et al.*, 2005; Julier & Roulston, 2009; Ullmann *et al.*, 2016).

Otro de los factores estudiado en este trabajo fueron las fuentes de recursos alimenticios utilizados por la comunidad de abejas. Las especies de plantas de mayor importancia para las abejas, ya sea para la utilización de su polen, néctar o ambos han sido las pertenecientes a las familias Asteraceae, seguidas por Fabaceae, Brassicaceae y Solanaceae. Las asteráceas concentraron casi el 81% de las especies de abejas registradas en el ambiente, lo cual coincide con trabajos realizados previamente y da cuentas de la importancia de las mismas para las comunidades de abejas (Dalmazzo, 2010; Ramello *et al.*, 2020). Además es de destacar la gran diversidad de recursos utilizado por las diferentes especies, constatando el forrajeo de abejas en al menos 90 taxones vegetales. Las especies de plantas que recibieron la mayor riqueza de abejas forrajeras fueron *Carduus acanthoides* (S = 34), *Matricaria chamomilla* (S = 29) y *Picris echioides* (26), perteneciendo las tres a la familia Asteraceae, mientras que las más visitadas fueron *Carduus acanthoides*, *Brassica rapa*, *Trifolium repens* y *Matricaria chamomilla*.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que entre las abejas más abundantes se encuentran tanto especies oligoléticas, como aquellas con una mayor preferencia hacia una determinada fuente de polen para alimentar a sus larvas (como por ej. *M. tintinnans* o *A. amphitrite*), como poliléticas sin una preferencia marcada. Es por ello que el estudio de las fuentes de alimentación tanto de los individuos adultos como de sus crías, resulta clave para desarrollar estrategias de manejo que permitan proveer alimento a las mismas. En particular, futuros estudios deberán orientarse a desarrollar estrategias para favorecer la presencia de especies de abejas comunes y en especial de aquellas especies poco abundantes y cuyos requerimientos ecológicos resultan más específicos. Resultando esto último muy relevante ya que en este estudio se ha observado a varias especies de abejas presentes en los tres tipos de manejos agrícolas.

Diversidad de abejas en cultivos de *Cucurbita maxima* presentes en establecimientos con distinto manejo agrícola

La diversidad y composición de la apifauna observada visitando flores de cultivos de *Cucurbita maxima* estuvo representada únicamente por especies de las familias Apidae y Halictidae. Al unificar las especies que fueron observadas tanto en las transectas realizadas como en el estudio de polilnización, la familia Apidae registró 10 especies visitando flores de zapallitos mientras que para la familia Halictidae se registraron nueve. La gran similitud encontradas entre las especies recolectadas en los bordes de cultivo y dentro de los mismos en cada establecimiento, indica que las abejas silvestres hacen uso de los recursos florales (néctar y polen) que ofrece tanto el cultivo de *C. maxima* como la vegetación espontánea que crece a su alrededor. Este resultado es interesante ya que el estudio del uso del hábitat que rodea a los cultivos por parte de las diferentes especies de abejas, tanto como fuente de alimento como sitios de nidificación, podría servir para realizar acciones concretas que favorezcan la presencia de las mismas en los ambientes hortícolas mientras se producen cultivos de interés.

Los valores de diversidad obtenidos dentro del cultivo de *C. maxima* fueron menores a los calculados para los bordes de los mismos, al igual que la riqueza de especies registradas en cada establecimiento al comparar ambas regiones. A pesar de que los establecimientos no variaron significativamente con respecto al manejo agrícola, los índices calculados para el cultivo en cada establecimiento mantuvieron el mismo patrón que los observado en los bordes pero de manera más notoria: los cultivos producidos bajo manejo agrícola en transición agroecológica tuvieron los mayores valores de diversidad, seguido por los orgánicos y finalmente por los convencionales. Destacándose que al menos ocho de las especies de abejas estuvieron presentes en al menos el 50% de los establecimientos y bajo los tres tipos de manejo. También se observó que la relación entre la abundancia de abejas nativas y de *A. mellifera* siguió el mismo patrón, la proporción de abejas nativas (en relación a *A. mellifera*) fue mayor para los establecimientos en transición, seguidos por los orgánicos y finalmente por los convencionales.

Los resultados de diversidad obtenidos indican que tanto la abundancia como la riqueza de abejas registradas sobre los cultivos en este trabajo pueden estar relacionadas a

tanto al manejo agrícola que se lleva a cabo en el establecimiento como a la matriz productiva en la que están insertos los mismos. De esta manera, si bien se observó en diversos trabajos que las cinco familias de abejas presentes en los bordes de cultivos son potenciales visitantes florales de cucurbitáceas, solo algunas especies de abejas en el área de estudio las utiliza como recursos florales y el resto utiliza aquellos que ofrecen la vegetación espontánea. Dichas observaciones podría deberse por un lado a las preferencias alimenticias de cada abeja y por el otro al período de implantación de tales cultivos en los establecimientos estudiados. Si bien en este estudio no fue tenido en cuenta los años de producción continuada de cucurbitáceas en cada establecimiento ni en aquellos que los rodeaban, el mismo podría ser un factor importante que determine una mayor o menor riqueza de abejas que los visitan. Esto se debe principalmente a que estos cultivos presentan una floración restringida a determinada época del año, y no todas las especies de abejas están presentes en tales momentos, lo cual llevaría a que no puedan hacer uso de sus recursos (polen y néctar) en temporadas sucesivas y por ende, no utilizarlos como principal fuente de alimentación. De hecho la superposición fenológica y morfológica entre las plantas y polinizadores es de sumo interés ya que se ha observado que aquellas parejas de planta-polinizadores que se superpongan de mayor manera, generan estructuras estables y funcionales en el tiempo en las redes de interacción (Peralta *et al.*, 2020). También es importante remarcar que si bien las cucurbitáceas ofrecen una gran cantidad de néctar en sus flores, el tamaño y la morfología de los granos de polen hace difícil la manipulación de mismos, en especial para las especies de pequeño tamaño viéndose posiblemente limitado su uso por parte de las mismas.

En relación a la abundancia de las abejas a lo largo de toda la floración del cultivo, la especie *A. mellifera* presentó los mayores registros de visitas estando presente en casi el 80% de las transectas y superando ampliamente las abejas nativas en todo su conjunto, sin embargo, durante el verano medio se registraron las mayores abundancias de las especies nativas sobrepasando, en conjunto, la actividad de la abeja melífera. Esto se debe posiblemente a que estén presentes otras fuentes de polen y néctar utilizador por *A. mellifera* junto a la gran actividad que presentan los individuos de la especie solitaria *Peponapis fervens*, seguida por la especie social *Bombus pauloensis* (ambos pertenecientes a la familia Apidae) y las especies de los géneros *Augochlora*, *Augochloropsis* y *Lassioglossum*

de la familia Halictidae. La especie *A. mellifera* fue clasificada como “constante” en su tasa de visitas al cultivo y las especies *P. fervens* y *B. pauloensis* fueron las más recurrentes entre las abejas nativas siendo consideradas ambas como especies “accesorias”.

La mayor riqueza de abejas sobre el cultivo fue registrada entre fines de diciembre y fines de febrero con una gran presencia durante el verano medio, coincidiendo con la actividad de las abejas presentes en bordes de cultivo. Durante el verano medio, sólo cuatro especies resultaron ser las más abundantes en ambas temporadas de muestreo: *A. mellifera*, *P. fervens*, *T. analis* y *B. pauloensis*. A pesar de ello es para destacar que al igual que las tres primeras especies antes mencionadas, los halíctidos *Augochlora amphitrite*, *A. iphigenia* y *Augochloropsis berenice*, estuvieron presentes durante toda la temporada, mientras que la especie *B. pauloensis* que fue observada a partir del verano temprano y hasta el verano tardío.

El horario de forrajeo de las abejas estuvo caracterizado por un primer aumento de las visitas al cultivo por parte de las especies nativas entre las primeras horas de la mañana y un segundo aumento entre las 11:00hs y las 11:30hs, debido este último a la actividad de *B. pauloensis* principalmente. Por otro lado, *A. mellifera* no presentó un patrón marcado. Las abejas nativas estuvieron presentes en todos los horarios, de las cuales las hembras de las especies *P. fervens*, *Augochlora amphitrite* y *Melissodes tintinnans* fueron registradas en varias oportunidades colectando activamente polen. Por su parte esto es conocido para las especies del género *Peponapis* ya que poseen características morfológicas y etológicas que les permite coleccionar y manipular granos de polen eficientemente, explicando su abundante presencia por las mañanas, momento en el cual se produce la antesis floral. El registro obtenido para *Augochlora amphitrite* y *M. tintinnans* cosechando polen permite aumentar el conocimiento sobre la dieta de las mismas ya que no existen registros previos de tal actividad.

La mayor abundancia de abejas nativas registradas sobre flores masculinas del cultivo a lo largo del período de apertura floral diario frente a la especie *A. mellifera*, responde principalmente a la gran abundancia de la especie *P. fervens* cuyas hembras buscan activamente polen y néctar. Por otro lado, los cambios en la elección floral de *A. mellifera*, visitando mayormente flores femeninas en las primeras horas de la mañana para luego

aumentar su abundancia sobre las masculinas podría responder a dos factores principales. Por un lado a la producción de néctar, cuya información disponible indica que las flores femeninas de *C. maxima* y otras cucurbitáceas producen más cantidad de néctar y con mayor contenido de azúcares que las masculinas. Por otra parte, se observó una disminución marcada en la disponibilidad de flores femeninas abiertas a medida que se acercaba el mediodía a diferencia de las flores masculinas que permanecieron abiertas unas horas más, hecho que podría incidir sobre la elección floral.

Eficacia, eficiencia e importancia de las especies de abejas que visitan los cultivos de *Cucurbita maxima*

En el estudio de la polinización de los cultivos de cucurbitáceas, se ha observado una consistencia en las familias de abejas registradas tanto para los ensayos de eficacia como de eficiencia. A saber, tanto la familia Apidae como la familia Halictidae estuvieron representadas por ocho especies cada una. Conforme a la predicción propuesta se observó que las especies de abejas de mayor tamaño corporal depositaron un mayor número de granos de polen sobre los estigmas florales en cada visita, cuyo valor en promedio es de 3,5, 8 y 30 veces superior al depositado por las especies de tamaño mediano, pequeño y muy pequeño respectivamente.

A partir de los resultados obtenidos de los ensayos de eficiencia se observó que el mayor depósito de polen con una sola visita fue llevado a cabo por el abejorro *B. pauloensis*, mientras que el orden de los mayores depósitos promedios corresponde a *Xylocopa augusti*, *B. pauloensis* y *Peponapis feroens* respectivamente. En relación a las dos especies que más polen depositaron en promedio con una sola visita, la especie *X. augusti* depositó 3,3 veces más polen que *B. pauloensis*, mientras que esta última depositó en promedio casi 1,15 veces más que las hembras de *P. feroens* y cuatro veces más que *A. mellifera*.

Dentro de las especies de tamaño mediano, *P. feroens* fue más eficiente depositando polen que *A. mellifera*, y al discriminar entre machos y hembras de *P. feroens*, la eficiencia de las hembras fue similar a especies de gran tamaño como *B. pauloensis*. La importancia de estudiar la polinización llevada a cabo por individuos machos de especies de abejas reside en que presenta una gran actividad dentro del cultivo de cucurbitáceas y porque

además fue capaz de depositar polen en el estigma floral en el 84% de las flores analizadas. Entonces es posible concluir que tanto en machos de *P. fervens* como en aquellas especies de abejas que no depositan grandes cantidades de polen, su rol en la polinización de los cultivos puede volverse muy importante en ausencia de otras especies de abejas más eficientes en el transporte y depósito de polen. En particular las especies de abejas que presentaron tamaños corporales pequeños depositaron menores cantidades de polen, lo cual puede deberse a sus limitaciones en el proceso de transporte y depósito de polen de *C. maxima* debido al tamaño del mismo, al tamaño del grano de polen y al tamaño de la flor. Sin embargo, al ajustar el tamaño de la flor al tamaño de la especie de abeja que la visita, su importancia en la polinización puede aumentar sustancialmente como se ha propuesto para las pequeñas abejas del género *Lasioglossum* que fueron estudiadas visitando flores de melón (*Cucumis melo*; Rodrigo Gómez *et al.*, 2016).

La capacidad de producir frutos normales en cultivos de *C. maxima* con una sola visita (“eficacia”) por las diferentes especies de abejas estudiadas es baja: sólo se observaron frutos cuajados normalmente en el 4,6% de los ensayos, los cuales pertenecieron a las especies *A. mellifera* y a *B. pauloensis*. En el resto de las oportunidades los frutos producidos fueron muy pequeños, deformes o directamente fueron abortados por las plantas, coincidiendo con la gran dependencia de los cultivos de esta familia vegetal a los polinizadores y cuyo aumento en el número de visitas, favorece el cuajado de sus frutos (Passarelli, 2001; Klein *et al.*, 2007; Nicodemo *et al.*, 2009; Serra & Campos, 2010; Vidal *et al.*, 2010; Artz & Nault, 2011; Cane *et al.*, 2011). A partir de lo observado, se concluye que aquellas flores femeninas que no recibieron visitas (“control negativo”) no produjeron ningún fruto, mientras que de los ensayos de polinización libre permitiendo más de una visita floral, el porcentaje de frutos que se desarrollaron normalmente fue del 51% de los casos. Estos bajos valores de producción de frutos con solo una visita del polinizador responden a las necesidades mínimas de granos de polen necesarios para polinizar las flores femeninas, que al compararse con los porcentajes de fructificación de *C. maxima* con respecto a otras especies de cucurbitáceas, los requerimientos polínicos de este cultivo posiblemente sea superior que el resto de los cultivos de la familia tales como *C. pepo* y *C. moschata* o *Citrullus lanatus* (Serra & Campos, 2010; Artz & Nault, 2011; Garantonakis *et al.*, 2016; Pisanty *et al.*, 2016; Pfister *et al.*, 2017; Delgado-Carrillo *et al.*, 2018). A partir los

resultados obtenidos del promedio de granos de polen que depositan cada especie de abeja que visita flores de *C. maxima*, puede concluirse que para lograr una correcta polinización serían necesarias al menos una o dos visitas de las abejas nativas más eficientes (*X. augusti*, *B. pauloensis* o de *P. fervens* ♀) o al menos siete visitas de *A. mellifera*, aunque un mayor número de visitas por flor posiblemente aumente el porcentaje de cuajado de los frutos que sucede en condiciones de polinización libre de este cultivo como se ha observado en este estudio y previamente (Passarelli, 2002) o en otras cucurbitáceas debido a una mayor acumulación progresiva de granos de polen depositados sobre los estigmas (Walter & Taylor, 2006; Nicodemo *et al.*, 2009; Vidal *et al.*, 2010; Artz & Nault, 2011; Cane *et al.*, 2011; Garantonakis *et al.*, 2016).

Para concluir, de las 19 especies de abejas que fueron observadas en cultivos de *C. maxima* en el CHP a través de las transectas realizadas y los ensayos de polinización, las especies pertenecientes a la familia Apidae (*Apis mellifera*, *Peponapis fervens*, *Bombus pauloensis*, *Xylocopa augusti* y *Thygater analis*) junto al halictido *Augochlora amphitrite* fueron las especies más importantes (relación entre eficiencia y frecuencia de visitas) en la polinización del cultivo. *Apis mellifera* resultó ser la especie más importante, si bien en eficiencia está en cuarto lugar, debido principalmente a su elevada frecuencia de visitas. A pesar de ello, se observó un importante cambio tanto en la abundancia como en la riqueza de abejas que visitaron el cultivo a lo largo de la temporada, lo cual reviste de gran interés el aporte que otorgan el conjunto de especies nativas a la polinización del cultivo. Dentro de las mismas se destacan *P. fervens* y *B. pauloensis* cuya presencia en los cultivos tomó gran relevancia durante el verano medio y el verano tardío, momento en el cual la presencia de *A. mellifera* disminuyó notablemente.

Limitaciones del estudio

El área de estudio se compone de un sistema dinámico tanto en la producción de hortalizas a pequeña escala pero de forma intensiva, variando la producción que es llevada a cabo en cada establecimiento según las necesidades del mercado y las posibilidades de cada productor durante la temporada primavera-verano. Es por ello que si bien el cultivo de zapallito verde (*Cucurbita maxima*) estuvo presente en casi todos los

establecimientos en todas las temporadas de estudio, otros tales como el zapallo anco, zapallo japonés, pepinos y zucchini, no fueron cultivados en años sucesivos e incluso en algunos establecimientos nunca fueron cultivados. Esto dificulta el estudio y comparación entre diversos cultivos producidos a campo en el área de estudio en una misma temporada y entre años de producción sucesivos.

Durante el transcurso del estudio se ha observado una importante modificación del entorno que rodea a los cultivos entre años sucesivos con cambios dinámicos que abarcan tanto la producción de diferentes hortalizas como la implementación de nuevas áreas de cultivos que abarcaron regiones que anteriormente formaban parte de áreas seminaturales que bordeaban a algunos establecimientos. También se ha observado la construcción de numerosos invernaderos para realizar cultivos bajo cubierta, limitando tanto el área destinada a cultivos a campo como al que ocupan los bordes de cultivo.

Perspectivas futuras

Futuros estudios que abarquen el efecto producido por el cambio del ambiente a escala local y como este modela la presencia de determinadas especies de abejas en los ambientes en función de sus características de nidificación, resulta de sumo interés para poder desarrollar estrategias que beneficien su conservación en el ambiente. La transformación a escala local podría afectar tanto a especies de abejas que utilizan partes vegetales secas o en descomposición como sustrato para nidificar (género *Xylocopa*, *Ceratina*, *Augochlora*, *Megachile*) como a aquellas que construyen sus nidos en el suelo.

En relación a los bordes con vegetación espontánea, la presencia de cultivos que alcanzan los límites de los establecimientos (a campo o bajo cubierta) supone una disminución importante del área en donde podrían albergarse especies vegetales claves para determinadas especies de abejas. Lo cual podría favorecer a la simplificación de las interacciones entre las especies de abejas y las plantas presentes en las mismas, y por ende, una disminución de la riqueza de abejas presentes. Además se ha observado que los bordes de cultivo en cada establecimiento varían naturalmente de un área a otra dentro del mismo, pudiéndose crear parches de gran diversidad de especies vegetales y otras

áreas de menor diversidad. Es por ello que el estudio de la interacción entre tales regiones y la presencia de abejas en las mismas es importante ya que determinadas zonas podrían ser utilizadas en mayor medida para nidificar y mientras que otras para alimentarse, siendo ambas importantes para el mantenimiento de la apifauna.

El estudio de la vegetación espontánea anual, bianual o perenne presentes en los bordes de cultivos podrán arrojar luz sobre la importancia de las mismas en determinadas etapas de la fenología de las abejas. Por ejemplo en este trabajo se ha observado que una gran riqueza de abejas nativas se registró a partir de la primavera media, lo cual hace indispensable que a partir de dicho período las prácticas culturales llevadas a cabo en los establecimientos permitan la presencia de determinadas especies de plantas que provean recursos a las diferentes especies de abejas.

La diversidad de abejas que visitan cultivos de Cucurbitáceas podría depender de la presencia de los mismos durante años consecutivos en los establecimientos, lo cual es una variable de gran interés para futuros estudios que contemplen tanto la riqueza como abundancia de abejas. Finalmente, es necesario indagar sobre el número mínimo de visitas que son necesarias para el correcto cuajado del fruto de *C. maxima* para cada especie de abeja en particular y que ocurre con tales valores al permitir la visita de más de una especie de abeja. Además determinar si la presencia y densidad de setas en determinadas regiones del cuerpo de las abejas y el comportamiento de forrajeo de cada favorece al depósito de polen en el estigma floral, relacionándolo con la cantidad de polen que porta cada individuo y la cantidad que deposita con una sola visita.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrahamovich, A.H., & Díaz, N.B. 2001. Distribución geográfica de las especies del género *Bombus* Latreille (Hymenoptera, Apidae) en Argentina. *Revista Brasileira de Entomologia*, 45(1): 23-36.
- Abrahamovich, A.H., Díaz N.B., & Lucia, M. 2005. Las especies del Género *Bombus* Latreille en Argentina (Hymenoptera, Apidae). Estudio Taxonómico y Claves para su identificación. *Neotropical Entomology*, 34: 235-250.
- Abrahamovich, A.H., Díaz, N.B., & Lucia, M. 2007. Identificación de las “abejas sociales” del género *Bombus* (Hymenoptera, Apidae) presentes en la Argentina: clave pictórica, diagnosis, distribución geográfica y asociaciones florales. *Rev. Fac. Agron.*, 106(2): 165-176.
- Abrahamovich, A.H., Tellería, M.C., & Díaz, N.B. 2001. *Bombus* species and their associated flora in Argentina. *Bee world*, 82(2): 76-87.
- Abrol, D. P. 2012. *Pollination Biology, Biodiversity Conservation and Agricultural Production*. The Netherlands, Germany, U.K.: Springer. 792 pp.
- Aguiar-Menezes, E.L., Menezes, E.B., Cassino, P.C.R., & Soares, M.A. 2002. Passion fruit, in: Peña, J. E., Sharp, J. L. and Wisoki, M. (Eds.), *Tropical Fruit Pests and Pollinators: Biology, Economic Importance, Natural Enemies and Control*. CABI Publishing. Oxon, UK, pp. 361-390.
- Aguilar, R., Ashworth, L., Galetto, L., & Aizen, M. A. 2006. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. *Ecology letters*, 9(8): 968-980.
- Aizen, M.A., & Feinsinger, P. 1994. Habitat Fragmentation, Native Insect Pollinators, and Feral Honey Bees in Argentine 'Chaco Serrano'. *Ecological Applications*, 4(2): 378-392.
- Aizen, M.A., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A., & Klein, A. M. 2009a. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*, 103: 1579-1588.

- Aizen, M.A., Garibaldi, L.S., & Dondo, M. 2009b. Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecología austral*, 19: 45-54.
- Aizen, M.A. & L.D. Harder. 2009. The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination. *Current Biology*, 19: 1-4.
- Aizen, M.A., Aguiar, S., Bismeyer, J.C., Garibaldi, L.A., Iouye, D.W., Jung, C., Martins, D.J., Medel, R., Morales, C.L., Ngo, H., Pauw, A., Paxton, R.J., Sáez, A., & Seymour, C.L. 2019. Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. *Global Change Biology*, 25: 3516-3527.
- Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74: 19-31.
- Álvarez, L., Lucia, M., Aquino, D., Ramello, P.J., & Abrahamovich, A.H. 2016. Nesting biology and associated insect enemies of the exotic leaf cutter bee *Megachile (Eutricharaea) concinna* (Hymenoptera: Megachilidae) in Argentina. *Journal of Apicultural Research*, 54: 305-313.
- Álvarez, L.J., Lucia, M., Ramello, P.J., Del Pino, M., & Abrahamovich, A.H. 2015. Abejas asociadas a cultivos de Berenjena (*Solanum melongena* L., Solanaceae) en invernadero del Cinturón Hortícola de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 113(2): 211-217.
- Artz, D.R., & Nault, B.A. 2011. Performance of *Apis mellifera*, *Bombus impatiens*, and *Peponapis pruinosa* (Hymenoptera: Apidae) as Pollinators of Pumpkin. *Journal of Economic Entomology*, 104(4): 1153-1161.
- Ashworth, L. 1997. Estudio sobre la biología reproductiva del zapallo amargo (*Cucurbita andreana*, Cucurbitaceae). Tesina de graduación, F.C.E.F.y N., U.N.C., Argentina.
- Ashworth, L., & Galetto, L. 1999. Morfo-anatomía cuantitativa de las flores pistiladas y estaminadas de *Cucurbita maxima* subsp. *andreana* (Cucurbitaceae). *Darwiniana*, 37: 187-198.
- Ashworth, L., & Galetto, L. 2001. Pollinators and Reproductive Success of the Wild Cucurbit *Cucurbita maxima* ssp. *andreana* (Cucurbitaceae). *Plant Biology*, 3: 398-404.

- Ashworth, L., Aguilar, R., Galetto, L., & Aizen, M.A. 2004. Why do pollination generalist and specialist plant species show similar reproductive susceptibility to habitat fragmentation? *Journal of Ecology*, 92: 717–719.
- Ashworth, L., Aguilar, R., Martén-Rodríguez, S., Lopezaraiza-Mikel, M., Avila-Sakar, G., Rosas-Guerrero, V., & Quesada, M. 2015. Chapter 11: Pollination Syndromes: A Global Pattern of Convergent Evolution Driven by the Most Effective Pollinator. In: *Evolutionary biology: biodiversification from genotype to phenotype*. Ed. Springer, Cham, pp: 203-224.
- Ashworth, L., Quesada, M., Casas, A., Aguilar, R., & Oyama, K. 2009. Pollinator-dependent food production in Mexico. *Biological Conservation*, 142: 1050–1057.
- Bänsch, S., Tschardtke, T., Ratnieks, F.L.W., Härtel, S., & Westphal, C. 2020. Foraging of honey bees in agricultural landscapes with changing patterns of flower resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 291: 106792. DOI: 10.1016/j.agee.2019.106792.
- Baranzelli, M.C., Benitez-Vieyra, S., Glinos, E., Trenchi, A., Córdoba, S., Camina, J., Ashworth, L., Sérsic, A.N., Cocucci, A.A., & Fornoni, J. 2020. Daily fluctuations in pollination effectiveness explain higher efficiency of native over exotic bees in *Lepechinia floribunda* (Lamiaceae). *Annals of Botany*, 125(3): 509-520.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1): 1-48.
- Bedascarrasbure, E.L., Barletta, U.M., & Marrapodi, J.L. 1986. Efecto de la polinización con abejas (*Apis mellifera* L.) sobre la producción de *Cucurbita pepo* var. *medullosa* Alef. *Gaceta del colmenar*, pp. 3-6.
- Benencia, R. 1994. La horticultura bonaerense: lógicas productivas y cambios en el mercado de trabajo. *Desarrollo económico, Argentina*, 133(34): 53-57.
- Bengtsson, J., Aahnström, J., & Weibull, A.-C. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42: 261–269.
- Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, P., Potts, S. G., Kleukers, R., Thomas, C. D., Settele, J., & Kunin, W.E. 2006. Parallel Declines

- in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313: 351-354.
- Bispo Dos Santos, S.A, Roselino, A.C, Hrnccir, M., & Bego, L. R. 2009. Pollination of tomatoes by the stingless bee *Melipona quadrifasciata* and the honey bee *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *Genetics and Molecular Research*, 8: 751-757.
- Bodenheimer, R.S. 1955. *Précis d'écologie animale*. Paris: Payot. 315pp.
- Brooks, M. E., Kristensen, K., van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Maechler, M., & Bolker, B. M.. 2017. glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal*, 9(2): 378-400.
- Buchmann, S.L. 1983. Buzz pollination in Angiosperms. En: Jones, C. E. & Little, R. J. (eds.) *Handbook of experimental pollination biology*, Van Nostrand & Reinhold, New York, pp. 73-113.
- Buchmann, S.L., & Nabhan, G.P. 1996. *The forgotten pollinators*. Washington, DC: Island Press.
- Cabrera, A.L. 1978. *Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires*. 2a. ed. Ed. ACME, Bs As., Argentina, 755pp.
- Cabrera, A.L., & Willink, A. 1973. *Biogeografía de América Latina*. Monografía 13. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Serie de Biología. Washington DC.
- Cameron, S.A., & Jost, M.C. 1998. Mediators of dominance and reproductive success among queens in the cyclically polygynous Neotropical bumble bee *Bombus atratus* Franklin. *Insectes sociaux*, 45 (1998) 135 - 149
- Cane, J.H. 1987. Estimation of bee size using intertegular span (Apoidea). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 60: 145-147.
- Cane, J.H., Sampson, B.J., & Miller, S.A. 2011. Pollination value of male bees: the specialist bee *Peponapis pruinosa* (Apidae) at Summer Squash (*Cucurbita pepo*). *Environmental Entomology*, 40(3): 614-620.

- Cane, J.H., & Sipes, S. 2006. Characterizing floral specialization by bees: analytical methods and a revised lexicon for oligolecty. En: N.M. Waser & J. Ollerton (Eds.), *Plant-Pollinator Interactions. From specialization to generalization* (pp. 99-122). Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Canto-Aguilar, M. A., & Parra-Tabla, V. 2000. Importance of conserving alternative pollinators: assessing the pollination efficiency of squash bee, *Peponapis limitaris* in *Cucurbita moschata* (Cucurbitaceae). *Journal of Insect Conservation*, 4: 203-210.
- Cavigliasso, P., Phifer, C. C., Adams, E. M., Flaspohler, D., Gennari, G. P., Licata, J. A., & Chacoff, N. P. 2020. Spatio-temporal dynamics of landscape use by the bumblebee *Bombus pauloensis* (Hymenoptera:Apidae) and its relationship with pollen provisioning. *PLoS one*, 15(7): e0216190
- Censo Hortiflorícola de Buenos Aires 2005 (CHFBA'05). Ministerio de Asuntos Agrarios y Ministerio de Economía de la Prov. de Buenos Aires. 54 pp.
- Censo Nacional Agropecuario 2002 (CNA'02) INDEC.
<https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87>
- Chacoff, N.P., & Aizen, M.A. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology*, 43: 18-27.
- Chacoff, N.P., & Aizen, M.A. 2007. Pollination Requirements of Pigmented Grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.) from Northwestern Argentina. *Crop Science*, 47: 1143-1150.
- Chacoff, N.P., Morales, C.L., Garibaldi, L.A., Ashworth, L., & Aizen, M.A. 2010. Pollinator dependence of Argentinean agriculture: current status and temporal analysis. *American Journal of Plant Sciences*, 3(1): 106-116.
- Chao, A. 1984. Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11: 265-270.
- Chao, A., & Lee, S.M. 1992. Estimating the number of classes via sample coverage. *The Journal of the American Statistical Association*, 87: 210-217.

- Chaplin-Kramer, R., Dombek E., Gerber J., Knuth K.A., Mueller N.D., Mueller M., Ziv G., & Klein A.-M. 2014. Global malnutrition overlaps with pollinator-dependent micronutrient production. *Proc. R. Soc. B*, 281: 20141799.
- Chautá-Mellizo, A., Campbell, S.A., Argenis Bonilla, M., Thaler, J.F., & Poveda, K. 2012. Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. *Basic and Applied Ecology*, 13(6): 524-532.
- Cilla, G., Caccavari, M., Bartoloni, N. J., & Roig-Alsina, A. 2012. The foraging preferences of two species of *Melissodes* Latreille (Hymenoptera, Apidae, Eucerini) in farmed sunflower in Argentina. *Grana*, 51(1): 63-75.
- Coelho, B.T.W. 2002. The biology of the primitively eusocial *Augochloropsis iris* (Schrottky, 1902) (Hymenoptera, Halictidae). *Insectes Sociaux*, 49: 181-190.
- Coelho, B.T.W. 2004. A review of the bee genus *Augochlorella* (Hymenoptera: Halictidae: Augochlorini). *Systematic Entomology*, 29: 282-323.
- Colla, S. R., & Packer, L. 2008. Evidence for decline in eastern North American bumblebees (Hymenoptera: Apidae), with special focus on *Bombus affinis* Cresson. *Biodiversity Conservations*, 17: 1379-1391.
- Colwell, R. K. 2013a. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.1.0. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.
- Colwell, R. K. 2013b. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Colwell, R.K., Mao, C.X., & Chang, J. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing Incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85(10): 2717-2727.
- Cullen, M.G., Thompsn, L. J., Carolan, J.C., Stout, J. C., & Stanley, D. A. 2019. Fungicides, herbicides and bees: A systematic review of existing research and methods. *PLoS ONE*, 14(12): e0225743.

- Cure, J.R. 1989. Revisão de *Pseudagapostemon* Schrottky e descrição de *Oragapostemon*, gen n. (Hymenoptera, Halictidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 33: 229-335.
- Daily, G.C. 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington.
- Dainese, M., Martin, E.A., Aizen M.A.,..., Steffan-Dewenter, I. 2019. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5(10): eaax0121.
- Dalmazzo, M. 2010. Diversidad y aspectos biológicos de abejas silvestres de un ambiente urbano y otro natural de la región central de Santa Fe, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69(1-2): 33-44.
- Dalmazzo, M., & Roig-Alsina, A. 2011. Revision of the species of the New World genus *Augochlora* (Hymenoptera, Halictidae) occurring in the southern temperate areas of its range. *Zootaxa*, 2750: 15-32.
- Dalmazzo, M., & Roig-Alsina, A. 2012. Nest structures and notes on social behavior of *Augochlora amphitrite* (Schrottky) (Hymenoptera, Halictidae). *Journal of Hymenoptera Research*, 26: 17-29.
- Dalmazzo, M., & Roig-Alsina, A. 2015. Social biology of *Augochlora (Augochlora) phoemonoe* (Hymenoptera, Halictidae) reared in laboratory nests. *Insectes Sociaux*, 62: 315-323.
- Dalmazzo, M. & Vossler, F. G. 2015. Pollen host selection by a broadly polylectic halictid bee in relation to resource availability. *Arthropod-Plant Interactions*, 9(3): 253-262.
- Danforth, B. N., Minckley, R. L., Neff, J. L., & Fawcett, F. 2019. *The solitary bees: biology, evolution, conservation*. Princeton University Press, 488 pp.
- De Santis, A.A. A., & Chacoff, N.P. 2020. Urbanization Affects Composition but Not Richness of Flower Visitors in the Yungas of Argentina. *Neotropical Entomology*, 49: 568-577.
- Delgado-Carrillo, O., Lopezaiza-Mikel, M., Ashworth, L., Aguilar, R., Lobo, J. A., & Quesada, M. 2017. A scientific note on the first record of nesting sites of *Peponapis crassidentata* (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie*, 48:644-647.

- Delgado-Carrillo, O., Martén-Rodríguez, S., Ashworth, L., Aguilar, R., Lopezaraiza-Mikel, M., & Quesada, M. 2018. Temporal variation in pollination services to *Cucurbita moschata* is determined by bee gender and diversity. *Ecosphere*, 9(11): e02506. 10.1002/ecs2.2506.
- Dos Santos S.A.B., Roselino, A.C., & Bego, L.R. 2008. Pollination of Cucumber, *Cucumis sativus* (Cucurbitales: Cucurbitaceae), by Stingless Bees *Scaptotrigona* aff. *depilis* Moure and *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in Greenhouses. *Neotropical Entomology*, 37(5): 506-512.
- Droege, S., Tepedino, V.J., Lebhung, G., Link, W., Minckley, R.L., Chen Q., & Conrad, C. 2010. Spatial patterns of bee captures in North American bowl trapping surveys. *Insect Conservation and Diversity*, 3: 15-23.
- Eckert, C. G., Kalisz, S., Geber, M. A., Sargent, R., Elle, E., Cheptou, P.-O., Goodwillie, C., Johnston, M.O., Kelly, J.K., Moeller, D.A., Porcher, E., Ree, R. H., Vallejo-Marín, M., & Winn, A.A. 2010. *Trends in Ecology and Evolution*, 25(1): 35-43.
- Eilers, E. J., Kremen, C., Greenleaf, S. S., Garber, A. K., & Klein, A.-M. 2011. Contribution of Pollinator-Mediated Crops to Nutrients in the Human Food Supply. *PLoS ONE*, 6(6): e21363. DOI:10.1371/journal.pone.0021363
- Flores-Prado, L. 2012. Evolución de la sociabilidad en Hymenoptera: Rasgos conductuales vinculados a niveles sociales y precursores de sociabilidad en especies solitarias. *Revista Chilena de Historia Natural*, 85: 245-266
- Fontaine, C., Dajoz, I., Meriguet, J., & Loreau, M. 2006. Functional Diversity of Plant-Pollinator Interaction Webs Enhances the Persistence of Plant Communities. *PLoS Biology*, 4(1): e1. DOI: 10.1371/journal.pbio.0040001.
- Forrest, J.R.K., Thorp, R.W., Kremen, C., & Williams, N.M. 2015. Contrasting patterns in species and functional-trait diversity of bees in agricultural landscape. *Journal of Applied Ecology*, 52: 706-715.
- Freitas, B.M., Imperatriz-Fonseca, V.L., Medina, L.M., Kleinert, A.M.P., Galetto, L., Nates-Parra, G., & Quezada-Euán, J.J.G. 2009. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie*, 40: 332-346.

- Freitas, B.M., & Paxton, R.J. 1998. A comparison of two pollinators: the introduced honey bee *Apis mellifera* and an indigenous bee *Centris tarsata* on cashew *Anacardium occidentale* in its native range of NE Brazil. *Journal of Applied Ecology*, 35: 109-21.
- Garantonakis, N., Varikou, K., Birouraki, A., Edwards, M., Kalliakaki, V., & Andrinopoulos, F. 2016. Comparing the pollination services of honey bees and wild bees in a watermelon fields. *Scientia Horticulturae*, 204: 138-144.
- Garibaldi, L.A., Aizen, M.A., Cunningham, S.A., & Klein, A.M. 2009. Pollinator shortage and global crop yield. Looking at the whole spectrum of pollinator dependency. *Communicative & Integrative Biology*, 2(1): 37-39.
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., ..., Klein, A.M.. 2011. Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology Letters*, 14: 1062-1072.
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., ..., Klein, A.M. 2013. Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bees Abundance. *Science*, 339: 1608-1611.
- Garibaldi, L.A., Oddi, F.J., Miguez, F.E.,..., Zhu, C.-D. 2020. Working landscapes need at least 20% native habitat. *Conservation Letters*. e12773.
- Gerling, D., Velthuis, W.H.D. & Hefetz, A. 1989. Bionomics of the large carpenter bee of the genus *Xylocopa*. *Annual Review of Entomology*, 34: 163-190.
- Ghazoul, J. 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(7): 367-373.
- Gianni, T.C., Lira-Saade, R., Ayala, R., Saraiva, A.M., & I. Alves-dos-Santos. 2011. Ecological niche similarities of *Peponapis* bees and non-domesticated *Cucurbita* species. *Ecological modelling*, 222(12): 2011-2018.
- Gibson, R.H., Pearce, S., Morris, R.J., Symondson, W.O.C., & Memmott, J. 2007. Plant diversity and land use under organic and conventional agriculture: a whole-farm approach. *Journal of Applied Ecology*, 44: 792-803.

- Gonçalves, R.B. 2016. A molecular and morphological phylogeny of the extant Augochlorini (Hymenoptera, Apoidea) with comments on implications for biogeography. *Systematic Entomology*, 41: 430–440.
- González-Vaquero, R. A. 2010. Revisión sistemática del género *Halictillus* (Hymenoptera: Halictidae: Augochlorini) en la Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69 (1-2): 65-89.
- González, V.H., Griswold, T., & Engel, M. 2018. South American Leaf-Cutter Bees (Genus *Megachile*) of the Subgenera *RhyssoMegachile* and *Zonomegachile*, with Two New Subgenera (Hymenoptera: Megachilidae). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 425: 1-74
- Gotelli, N.J., & Colwell, R.K. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4: 379-391.
- Gotelli, N.J., & Colwell, R.K. 2011. Estimating species richness. En: Magurran, A. E., & McGill B. J. (Eds.), *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*. New York: Oxford University Press; p. 39–54.
- Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E.L. 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229): 1255-957.
- Goulson, D., Lye, G.C., & Darwill, B. 2008. Decline and conservation of bumble bees. *Annual Review of Entomology*, 53: 191-208.
- Grab, H., Blitzer, E.J., Danforth, B., Loeb, G., & Poveda, K. 2017. Temporally dependent pollinator competition and facilitation with mass flowering crops affects yield in co-blooming crops. . *Sci. Rep.*, 7: 45296. DOI: 10.1038/srep45296.
- Greenleaf, S.S., Williams, N.M., Winfree, R., & Kremen, C. 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia*, 153(3): 589-96.
- Harmon-Threatt, A. 2020. Influence of Nesting Characteristics on Health of Wild Bee Communities. *Annual Review of Entomology*, 65:39–56.
- Heard, T.A. 1999. The role of stingless bees in crop pollinator. *Annual Review of Entomology*, 44: 183–206.

- Hoehn, P., Tschardtke, T., Tylianakis, J.M., & Steffan-Dewenter, I. 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 275: 2283–2291.
- Hogendoorn K., Steen, Z., & Schwarz, M.P. 2000. Native Australian carpenter bees as a potential alternative to introducing bumblebees for tomato pollination in greenhouses. *Journal of Apicultural Research*, 39: 67–74.
- Hojsgaard, D, Klatt, S., Baier, R., Carman, J.G., & Hörandl, E. 2014. Taxonomy and biogeography of apomixis in angiosperms and associated biodiversity characteristics. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33: 414-427.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., & Tschardtke, T. 2007. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *Journal of Applied Ecology*, 44: 41–49.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., & Tschardtke, T. 2008. Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. *Oikos*, 117: 354-361.
- Huffaker, C.B., & Rabb, R.L. 1984. *Ecological Entomology*. John Wiley and Sons, Nueva York, Nueva York.
- Hurd, P.D., & Linsley, E.G. 1964. The squash and gourd bees-genera *Peponapis* Robertson and *Xenoglossa* Smith inhabiting America north of Mexico (Hymenoptera: Apoidea). *Hilgardia*, 35: 375-477.
- Hurd, P.D., & Linsley, E.G. 1966. The Mexican squash and gourd bees of the genus *Peponapis* (Hymenoptera: Apoidea). *Annals of the Entomological Society of America*, 59(4): 835-851.
- Hurd, P.D., & Linsley, E.G. 1967. South American squash and gourd bees of the genus *Peponapis* (Hymenoptera: Apoidea). *Annals of the Entomological Society of America*, 60(3): 647-661.
- Hurd, P.D., Linsley, E.G., & Michelbacher, A.E. 1974. Ecology of the squash and gourd bee, *Peponapis pruinosa*, on cultivated cucurbits in California (Hymenoptera: Apoidea). *Smithsonian Contributions to Zoology*, 168: 1-17.

- Hurd, P.D., Linsley, E.G., & Whitaker, T.W. 1971. Squash and gourd bees (*Peponapis*, *Xenoglossa*) and the origin of the cultivated *Cucurbita*. *Evolution*, 25: 218-234.
- Jensen-Haarup, A.C. 1908. Biological research amongst the Argentine bees with special reference to flowers they visit. *Flora Fauna*, 10: 95-111.
- Johnson, J.B., & Omland, K.S. 2004. Model selection in ecology and evolution. *Trends in ecology & evolution*, 19(2): 101-108.
- Jörgensen, P. 1909. Beobachtungen über Blumenbesuch, Biologie, Verbreitung usw. der Bienen von Mendoza (Hym.). *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 1909: 211-227.
- Jörgensen, P. 1912. Revision der Apiden der Provinz Mendoza, República Argentina. *Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere*, 32: 89-162.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2): 363-375.
- Julier, H.E., & Roulston, T.H. 2009. Wild bee abundance and pollination service in cultivated pumpkins: farm management, nesting behavior and landscape effects. *J. Econ. Entomol.*, 102(2): 563-573.
- Kearns, C.A, & Inouye, D.W. 1997. Pollinators, flowering plants, and conservation biology. *Bioscience*, 47: 297-307.
- Kearns, C.D., Inouye, D.W., & Waser, N.W. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator Interactions. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 29: 83-112.
- Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., & Tscharntke, T. 2007. Review. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608): 303-313.
- Klein, A.M., Steffan Dewenter, I., & Tscharntke, T. 2003. Bee pollination and fruit set of *Coffea Arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany*, 90: 153-157.
- Klein A.-M., Freitas, B.M., Bomfim, I.G.A., Boreux, V., Fornoff, F., & Oliveira M.O. 2020. Insect Pollination of Crops in Brazil: A Guide for Farmers, Gardeners, Politicians and

- Conservationists. Nature Conservation and Landscape Ecology, Albert-Ludwigs University Freiburg, Freiburg.
- Kremen, C., Williams, N.M., & Thorp, R.W. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99: 16812-16816.
- Kremen, C., Williams, N.M., Bugg, R.L., Fay, J.P., & Thorp, R.W. 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecology Letters*, 7: 1109-1119.
- Krug, C., Alves-dos-Santos, I., & Cane, J. 2010. Visiting bees of Cucurbita flowers (Cucurbitaceae) with emphasis on the presence of *Peponapis ferox* Smith (Eucerini - Apidae) - Santa Catarina, Southern Brazil. *Oecologia Australis*, 14(1): 128-139.
- Le Feón, V., Poggio, S.L., Torretta, J.P., Bertrand, C., Molina, G.A.R., Burel, F., Baudry, J., & Ghersa, C.M. 2015. Diversity and life-history traits of wild bees in intensive agricultural landscapes in the Rolling Pampa, Argentina. *Journal of Natural History*, 50(19-20): 1175-1196.
- Lee, S.M., & Chao, A. 1994. Estimating population size via sample coverage for closed capture-recapture models. *Biometrics*, 50: 88-97.
- Lehmann, E.L., & Romano, J.P. 1986. Testing Statistical Hypotheses. Wiley, New York. National Research Council (NRC). 2007. Status of pollinators in North America. National Academies Press, Washington D.C.
- Longino, J.T., Coddington, J., & Colwell, R.K. 2002. The Ant Fauna of a Tropical Rain Forest: Estimating Species Richness Three Different Ways. *Ecology*, 83(3): 689-702.
- Lucia, M., Álvarez, L., & Abrahamovich, A.H. 2013. First record of *Melaloncha* (Diptera: Phoridae) parasitoid associated with *Bombus* (Apidae: Bombini) in Argentina. *Journal of Apicultural Research*, 52(2):72-73.
- Lucia, M., Álvarez, L., & Abrahamovich, A.H. 2014. Large carpenter bees in Argentina: systematics and notes on the biology of *Xylocopa* subgenus *Neoxylocopa* (Hymenoptera: Apidae). *Zootaxa*, 3: 201-238.

- Lucia, M., González, V.J., & Abrahamovich, A.H. 2015. Systematics and biology of *Xylocopa* subgenus *Schonnherria* (Hymenoptera, Apidae) in Argentina. *ZooKeys*, 543: 129-167.
- Lucia, M., Telleria M.C., Ramello, P.J., & Abrahamovich, A.H. 2017. Nesting ecology and floral resource of *Xylocopa augusti* Lepeletier de Saint Fargeau (Hymenoptera, Apidae) in Argentina. *Agricultural and Forest Entomology*, DOI: 10.1111/afe.12207.
- Lucia, M., Ramello, P.J., & González, V.J. 2020. Brood development and nest parasitism of *Xylocopa* (Neoxylocopa) *augusti* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae), a promising crop pollinator in Argentina. *Journ. Appl. Entomol.*, DOI: 10.1111/jen.12773.
- Maggi, M.D., Lucia, M., & Abrahamovich, A.H. 2011. Study of the acarofauna of native bumblebee species (*Bombus*) from Argentina. *Apidologie*, 42(3): 280-292.
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton N.J.: Princeton University Press. 179 pp.
- Magurran, A.E., & McGill, B.J. 2011. *Biological diversity: Frontiers in measurement and Assessment*. Oxford University Press. 345 pp.
- Mardan, M. 1995. Varied pollinators for sub-tropical Asian crops. *Pollination of Cultivated Plants in the Tropics* (ed. by D. W. Roubik), pp. 142-148. FAO (UN), Italy.
- Marshall, E.J.P., & Moonen, A.C. 2002. Field margins in the northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 89: 5-21.
- Martin, E.A., Dainese, M., Clough, Y.,..., Steffan-Dewenter, I.. 2019. The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe. *Ecology Letters*, DOI: 10.1111/ele.13265.
- Martins, A.C., & Melo, G.A.R. 2010. Has the bumblebee *Bombus bellicosus* gone extinct in the northern portion of its distribution range in Brazil? *Journal of Insect Conservation*, 14(2): 207-210.
- Maurer, B.A., & McGill, B.J. 2011. Measurement of species diversity. En Magurran, A.E., & B. J. McGill (Eds.), *Biological diversity: Frontiers in measurement and assessment* (pp. 55-65). New York: Oxford University press.

- Mazzeo, N., & Torretta, J.P. 2015. Wild bees (Hymenoptera: Apoidea) in an urban botanical garden in Buenos Aires, Argentina. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 50(3): 1-12.
- Medan, D., Montaldo, N.H., Devoto, M., Maniese, A., Vasellati, V., Roitman, G.G., & Bartoloni, N. H. 2002. Plant-pollinator Relationships at Two Altitudes in the Andes of Mendoza, Argentina. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 34(3): 233-241.
- Meléndez-Ramirez, V., Magaña-Rueda, S., Parra-Tabla, R., Ayala, V., & Navarro, J. 2002. Diversity of native bee visitors of cucurbit crops (Cucurbitaceae) in Yucatán, México. *Journal of Insect Conservation*, 6: 135-147.
- Michelette, E.R.F., & Camargo, J.M.F. 2000. Bee-plant community in a xeric ecosystem in Argentina. *Revista Brasileira de Zoologia*, 17(3): 651-665.
- Michener, C. D. 1979. Biogeography of the bees. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 66: 277-347.
- Michener, C.D. 2007. *The Bees of the World* [2nd Edition]. Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp 953.
- Montero-Castaño, A., & Vilà, M. 2017. Influence of the honeybee and trait similarity on the effect of a non-native plant on pollination and network rewiring. *Functional Ecology*, 31: 142-152.
- Motzke, I. T., Thcharntke, T. Wagner, T.C., & Klein, A-M. 2015. Pollination mitigates cucumber yield gaps more than pesticide and fertilizer use in tropical smallholder gardens. *Journal of Applied Ecology*, 52: 261-269.
- Müller A., Diener, S., Schnyder, S., Stutz, K., Sedivy, C., & Dornet, S. 2006. Quantitative pollen requirements of solitary bees: Implications for bee conservation and the evolution of bee-flower relationships. *Biological conservation*, 130: 604-615.
- Ne'eman, G., Jürgens, A., Newstrom-Lloyd, L., Potts, S.G., & Dafni, A. 2010. A framework for comparing pollinator performance: effectiveness and efficiency. *Biological Reviews*, 85: 435-451.
- Neff, J.L. & B.B. Simpson. 1993. Bees, pollination systems and plant diversity. En J. LaSalle & I. D. Gauld (Eds). *Hymenoptera and biodiversity*. (143.168 pp.) CABI Publishing, Wallingford, UK.

- Nepi, M., & Pacini, E. 1993. Pollination, pollen viability and pistil receptivity in *Cucurbita pepo*. *Annals of Botany*, 72: 527-536.
- Nicodemo, D., Nogueira Couto, R.H., Braga Malheiros, E., & De Jong, D. 2007. Biología floral em moranga (*Cucurbita maxima* Duch. Var. Exposição). *Acta Scientiarum Agronomy*, 29: 611-616.
- Nicodemo, D., Nogueira Couto, R.H., Braga Malheiros, E., & De Jong, D. 2009. Honey bee as an effective pollinating agent of pumpkin. *Scientia Agricola*, 66(4): 476-480.
- Nunes-Silva, P., Hrnir, M., & Imperatriz-Fonseca, V.L. 2010. A polinização por vibração. *Oecologia Australis*, 14 (1): 140-151.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120: 321-326.
- Olsen, K.M. 1997. Pollination effectiveness and pollinator importance in a population of *Heterotheca subaxillaris* (Asteraceae). *Oecologia*, 109: 114-121.
- Palmer, M.A., Filoso, S., & Fanelli, R.M. 2014. From ecosystems to ecosystem services: Stream restoration as ecological engineering. *Ecological Engineering* 65: 62-70.
- Passarelli, L. 2002. Importancia de *Apis mellifera* L. en la producción de *Cucurbita maxima* Duch. (Zapallito de tronco). *Investigación agraria. Producción y protección vegetal*, 17: 5-13.
- Peralta, G., Vázquez, D.P., Chacoff, N.P., Lomáscolo, S.B., Perry, G.L.W., & Tylianakis, J.M. 2020. Trait matching and phenological overlap increase the spatiotemporal stability and functionality of plant-pollinator interactions. *Ecology Letters*, DOI: 10.1111/ele.13510.
- Pfister, S.C., Eckerter, P.W., Schirmel, J., Cresswell, J.E., & Entling, M.H. 2017. Sensitivity of commercial pumpkin yield to potential decline among different groups of pollinating bees. *R. Soc. open sci.* 4: 170102.
- Pinkus-Rendon, M.A., Parra-Tabla, V., & Meléndez-Ramírez, V. 2005. Floral resource use and interactions between *Apis mellifera* and native bees in cucurbit crops in Yucatán, México *Can. Entomol.*, 137: 441-449.

- Pisanty, G., & Mandelik, Y. 2015. Profiling crop pollinators: life history traits predict habitat use and crop visitation by Mediterranean wild bees. *Ecological Applications*, 25(3): 742–752.
- Pisanty, G., Afik, O., Wajnberg, E., & Mandelik, Y. 2016. Watermelon pollinators exhibit complementary in both visitation rate and single-visit pollination efficiency. *Journal of Applied Ecology*, 53: 360-370.
- Pitts-Singer, T.L., & Cane, J.H. 2011. The alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*: The world's most intensively managed solitary bee. *Annual Review of Entomology*, 56: 221–237.
- Plischuk, S., Martín-Hernández, R., Prieto, L., Lucia, M., Botías, C., Meana, A., Abrahamovich, A. H., Lange, C., & Higes, M. 2009. South American native bumblebees (Hymenoptera: Apidae) infected by *Nosema ceranae* (Microsporidia), an emerging pathogen of honeybees (*Apis mellifera*). *Environ Microbiol Rep.*, 1(2): 131-135.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W.E. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 345-353.
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A.J. 2016. Review. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540: 220-229.
- Power, E.F., & J. C., Stout. 2011. Organic dairy farming: impacts on insect–flower interaction networks and pollination. *Journal of Applied Ecology*, 48: 561–569.
- Proctor, M., Yeo, P., & Lack, A. 1996. *The Natural History of Pollination*. London: Collins.
- Purtauf, T., Roschewitz, I., Dauber, J., Thies, C., Tschardt, T., & Wolters, V. 2005. Landscape context of organic and conventional farms: Influences on carabid beetle diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 108: 165-174.
- Ramello, P.J., Álvarez, L. J., Almada, V., & Lucia, M. 2020. The melittofauna and its floral associations in a natural riparian forest in Buenos Aires province, Argentina. *Journal of Apicultural Research*, DOI: 10.1080/00218839.2020.1765489.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

- Reynaldi, F.J., Sguazza, G.H., Albicoro, F.J., Pecoraro, M.I., & Galosi, C.M. 2013. First molecular detection of co-infection of honey bee viruses in asymptomatic *Bombus atratus* in South America. *Revista Brasileira de Biología*, 73(4): 797-800.
- Richards, A. J. 1986. Plant Breeding systems. G. Allen & J. Unwin (Eds.), London.
- Richards, A.J. 2001. Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield?. *Annals of Botany*, 88: 165-172.
- Ricketts, T.H. 2004. Tropical Forest Fragments Enhance Pollinator Activity in Nearby Coffee Crops. *Conservation Biology*, 18(5): 1262-1271.
- Rodrigo Gómez, S., C. Ornos, J. Selfa, M. Guara & C. Polidori. 2016. Small sweat bees (Hymenoptera: Halictidae) as potential major pollinators of melon (*Cucumis melo*) in the Mediterranean. *Entomological Science*, 19: 55-66.
- Roig-Alsina, A. 1999. Revision de las abejas colectoras de aceites del género *Chalepogenus* Holmberg (Hymenoptera, Apidae, Tapinotaspidini). *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s.*, 1(1): 67-101.
- Roig-Alsina, A. 2008. *Apiformes*. En Claps, L.E., Debandi, G., & S. Roig-Juñet (Eds.). Biodiversidad de Artrópodos Argentinos vol. 2: 373-390.
- Roig-Alsina, A. 2016. A revision of the bee genus *Ceratina*, subgenus *Rhysoceratina* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopinae). *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s.*, 18(2): 125-146.
- Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschardt, T., & Thies, C. 2005. The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *Journal of Applied Ecology*, 42: 873-882.
- Roubik, D. W. 1982. Obligate necrophagy in a social bee. *Science*, 217: 1059-1060.
- Roubik, D.W. 1989. Ecology and natural history of tropical bees. Cambridge University Press.
- Rozen, J. G. Jr. 1994. Biology and immature stages of some cuckoo bees belonging to Brachynomadini, with descriptions of two new species. *American Museum Novitates*, 3089: 1-23.

- Sadeh, A., Shmida, A., & Keasar, T. 2007. The carpenter bee *Xylocopa pubescens* as an agricultural pollinator in greenhouses. *Apidologie*, 38: 508–517.
- Sáez, A., Sabatino, M., & Aizen, M.A. 2012. Interactive Effects of Large- and Small-Scale Sources of Feral Honey-Bees for Sunflower in the Argentine Pampas. *PLoS ONE*, 7 (1), e30968.
- Sáez, A., Sabatino, M., & Aizen, M.A. 2014. La diversidad floral del borde afecta la riqueza y abundancia de visitantes florales nativos en cultivos de girasol. *Ecología Austral*, 24: 94-102.
- Sakagami, S.F., Laroca, S., & Moure, J.S. 1967. Wild bee biocenotics in São José dos Pinhais (PR) South Brazil preliminary report. *Journal of the Faculty of Science Hokkaido University Series VI. Zoology*, 16: 253–291.
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K.A.G. 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232: 8–27.
- Sanjur, O.I., Piperno, D.R., Andres, T.C., & Wessel-Beaver, L. 2002. Phylogenetic relationships among domesticated and wild species of *Cucurbita* (Cucurbitaceae) inferred from a mitochondrial gene: Implications for crop plant evolution and areas of origin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(1): 5358-540.
- Schaefer, H., & Renner, S.S. 2011a. Cucurbitaceae. In: Kubitzki, K. (ed.). Families and genera of Vascular Plants -Eudicots: Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae. Springer, Berlin, 10: 112–174.
- Schaefer, H., & Renner, S.S. 2011b. Phylogenetic relationships in the order Cucurbitales and a new classification of the gourd family (Cucurbitaceae). *Taxon*, 60(1): 122-138.
- Serra, B.D.V., & de O. Campos, L.A. 2010. Polinização entomófila de abobrinha, *Cucurbita moschata* (Cucurbitaceae). *Neotropical Entomology*, 39(2): 153-159.
- Shannon, C.E. 1948. The mathematical theory of communication. En Shannon, C. E., W. Weaver (Eds.), *The mathematical theory of communication* (pp. 3-91). Illinois: University Illinois Press, Urbana.
- Shuler, R.E.M., Roulston, T.H., & Farris, G.E. 2005. Farming practices influence wild pollinator populations on squash and pumpkin. *Journal of Economic Entomology*, 98: 790-795.

- Sihag, R.C. 1993. Behaviour and ecology of the subtropical carpenter bee, *Xylocopa fenestrata* F. 6. Foraging dynamics, crop host and pollination potential. *Journal of Apicultural Research* 33(2): 94-101.
- Silveira-Neto, S., Nakano, O., Barbin, D., & Villa Nova, N.A. 1976. Manual de Ecologia dos insetos. São Paulo: Ed. Agronomic Ceres.
- Slaa, E.J., Sánchez, L.A., Malagodi-Braga, K.S., & Hofstede, F.E. 2006. Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. *Apidologie*, 37: 293-315.
- Smith, A.A., Bentley, M., & Reynolds, H.L. 2013. Wild bees visiting Cucumber on midwestern U.S. organic farms benefits from near-farm semi-natural areas. *J. Econ. Entomol.* 106(1): 97-106
- Stanghellini, M.S., Ambrose, J.T., & Schultheis, J.R. 2002a. Diurnal activity, floral visitation and pollen deposition by honey bees and umble bees on field-grown cucumber and watermelon. *Journal of Apicultural Research*, 41(1-2): 27-34.
- Stanghellini, M.S., Schultheis, J.R., & Ambrose, J.T. 2002b. Pollen mobilization in selected Cucurbitaceae and the putative effects of pollinator abundance on pollen depletion rates. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 127(5): 729-736.
- Stavert, J.R., Liñán-Cembrano, G., Beggs, J.R., Howlett, B.G., Pattemore, D.E., & Bartomeus, I. 2016. Hairiness: the missing link between pollinators and pollination. *PeerJ.*, 4: e2779.
- Steffan-Dewenter, I., & Tscharntke, T. 1999. Effects of habitat isolation on pollinator communities and seed set. *Oecologia*, 121: 432-440.
- Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., Thies, C., & Tscharntke, T. 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology*, 83(5): 1421-1432.
- Steffan-Dewenter, I., Potts, S.G., & Packer, L. 2005. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in Ecology and Evolution*, 20: 651-652.
- Stupino, S.A., Frangi, J.L., & Sarandón, S.J. 2012. Caracterización de fincas hortícolas según el Manejo de los cultivos, La Plata, Argentina. 7^{mo} Congreso de Medio Ambiente AUGM, UNLP, La Plata, Argentina.

- Stupino, S.A., Sarandón, S.J., & Frangi, J.L. 2017. La flora espontánea en sistemas hortícolas del periurbano de la ciudad de La Plata (Buenos Aires, Argentina). Un importante reservorio de biodiversidad. *Cadernos de Agroecología - ISSN 2236-7934 - Anais do X CBA - Vol. 13, N° 1*, Mar. 2018.
- Tellería, M.C. 1998. Palynological analysis of food reserves found in a nest of *Bombus atratus* (Hym. Apidae). *Grana*, 37(2): 125-127.
- Tellería, M.C. 2003. Pollen harvest by solitary bees (*Ptilothrix relata*, Hym. Apidae, Emphorini) in the Argentine pampas - preliminary results. *Grana*, 42(4): 244-248.
- Tepedino, V. J. 1981. The pollination efficiency of the squash bee (*Peponapis pruinosa*) and the honey bee (*Apis mellifera*) on summer squash (*Cucurbita pepo*). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 54: 359-377.
- Teran, A.L. 1965. Relaciones existentes entre insectos y flores de cucurbitáceas de interés agrícola. *Revista Agronómica Noroeste Argentina*, 4(2): 187-193.
- Thomann, M., Imbert, E., Devaux, C., & Cheptou, P.-O. 2013. Flowering plants under global pollinator decline. *Trends in Plant Science*, 18 (7): 353-359.
- Thorp, R.W. 2003. Bumble bees (Hymenoptera: Apidae): commercial use and environmental concerns. For Non-native Crops, Whence Pollinators of the Future? *Proceedings of Thomas Say Publications in Entomology* (ed. by K. Strickler and J. H. Cane), pp. 21-40. Entomological Society of America, Lanham, Maryland.
- Tylianakis, J.M., Didham, R.K., Bascompte, J., & Wardle, D.A. 2008. Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11: 1351-1363.
- Torchio, P.F. 2003. The development of *Osmia lignaria* Say (Hymenoptera: Megachilidae) as a managed pollinator of apple and almond crops: a case history. For Nonnative Crops, Whence Pollinators of the Future? *Proceedings, Entomological Society of America* (ed. by K. Strickler and J. H. Cane), pp. 67-84. Thomas Say Publications in Entomology, Lanham, Maryland.

- Torretta, J.P., Medan, D., Roig-Alsina, A., & Montaldo, N. H. 2010. Visitantes florales diurnos del girasol (*Helianthus annuus*, Asterales: Asteraceae) en la Argentina. *Revista de la Sociedad Entomologica Argentina*, 69(1-2): 17-32.
- Torretta, J.P., & Durante, S.P. 2011. Nesting ecology of *Megachile (Sayapis) mendozana* Cockerell and its synonymy with *Megachile (Sayapis) santiaguensis* Durante (Hymenoptera: Megachilidae). *Zootaxa*, 3008: 63–68.
- Torretta, J.P., Durante, S.P., Colombo, M., & A. Basilio. 2012. Nesting biology of the leafcutting bee *Megachile (Pseudocentron) gomphrenoides* (Hymenoptera: Megachilidae) in an agro-ecosystem. *Apidologie*, 43:624–633.
- Torretta, J.P., Durante, S.P., & Basilio, A.M. 2014. Nesting ecology of *Megachile (Chrysosarus) catamarcensis* Schrottky (Hymenoptera: Megachilidae), a *Prosopis*-specialist bee. *Journal of Apicultural Research*, 53(5): 590-598.
- Torretta, J.P., & Poggio, S.L. 2013. Species diversity of entomophilous plants and flower-visiting insects is sustained in the field margins of sunflower crops. *Journal of Natural History*, 47(3–4): 139–165.
- Tschoeke, P.H., Oliveira, E.E., Dalcin, M.S., Silveira-Tschoeke, M.C.A.C., & Rodrigues Santos, G. 2015. Diversity and flower-visiting rates of bee species as potential pollinators of melon (*Cucumis melo* L.) in the Brazilian Cerrado. *Scientia Horticulturae*, 186: 207–216.
- Ullmann, K.S., Meisner, M. H., & Williams, N.M. 2016. Impact of tillage on the crop pollinating, ground-nesting bee, *Peponapis pruinosa* in California. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232: 240–246.
- Vázquez, D.P., & Simberloff, D. 2002. Ecological Specialization and Susceptibility to Disturbance: Conjectures and Refutations. *The American Naturalist*, 159(6): 606–623.
- Vázquez, D.P., Aschero, V., & Stevani, E.L. 2008. Livestock grazing, habitat protection and diversity of bees and wasps in the Central Monte desert. *Revista de la Sociedad Entomologica Argentina*, 67(3–4): 1–10.

- Vázquez, D.P., Morris W.F., & P. Jordano. 2005. Interaction frequency as a surrogate for the total effect of animal mutualists on plants. *Ecology Letters*, 8: 1088–1094.
- Velthuis, H., & van Doorn, A. 2006. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. *Apidologie*, 37(4): 421–451.
- Vidal, M.D.G., D. De Jong, H. C. Wien & R. A. Morse. 2010. Pollination and fruit set in pumpkin (*Cucurbita pepo*) by honey bees. *Revista Brasil. Bot.*, 33(1): 107-113.
- Walters, S.A. & B.H. Taylor. 2006. Effects of honey bee pollination on pumpkin fruit and seed yield. *Hort Science*, 41: 370-373.
- Wcislo, W.T., & Cane, J.H. 1996. Floral resource utilization by solitary bees (Hymenoptera: poidea) and exploitation of their stored foods by natural enemies. *Annu. Rev. Entomol.*, 41: 257-286.
- Westphal, C., Steffan-Dewenter, I., & Tschardt, T. 2003. Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. *Ecology Letters*, 6: 961–965.
- Whitaker, T.W. 1980. Cucurbitáceas americanas útiles al hombre. CIC. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. 42 pp.
- Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. *Springer-Verlag*, New York.
- Wilms, W., Imperatriz-Fonseca, V.L., & Engels, W. 1996. Resource partitioning between highly eusocial bees and possible impact of the introduced Africanized honey bee on native stingless bees in the Brazilian atlantic rainforest. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 31: 137-151.
- Winfrey, R., Griswold, T., & Kremen, C. 2007. Effect of Human Disturbance on Bee Communities in a Forested Ecosystem. *Conservation Biology*, 21(1): 213–223.
- Winfrey, R., Aguilar, R., Vázquez, D.P., LeBuhn, G., & Aizen, M.A. 2009. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90 (8): 2068-2076.

World Health Organization. 2005. Ecosystems and human well-being : health synthesis : a report of the Millennium Ecosystem Assessment / Core writing team: Corvalan, C., S. Hales, A. McMichael; extended writing team: Bulter, C. ... [et al.]; review editors: Sarukhán, J., ... [et al.]. Geneva : World Health Organization.

Zambrano-G. G., Gonzalez, V.H., Hinojosa-Díaz, I.A., & Engel, M.S. 2013. Bees visiting squash (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret) in southwestern Colombia (Hymenoptera: Apoidea). *Journal of Melittology*, 18: 1-5.

Zuloaga, F. O., Morrone, O., & Belgrano, M.J. 2008. Catalogue of the Vascular Plants of the Southern Cone (Argentina, Southern Brazil, Chile, Paraguay, and Uruguay). Volumes 1, 2 and 3. St. Louis, Missouri: Missouri Botanical Garden Press.

Zurbuchen, A., Landert, L., Klaiber, J., Müller, A., Hein, S., & Dorn, S. 2010. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation*, 143: 669-676.

Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A., & Smith, G.M. 2009. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Springer , New York. 574 pp.