



Corredores Biológicos
de **Montaña**
Proyecto GEF

Estudio de caso:

**DETERMINACIÓN DEL
SERVICIO DE POLINIZACIÓN
DE ARTRÓPODOS NATIVOS
EN AGROECOSISTEMAS,
DE LA LOCALIDAD
DE CALEU, TIL-TIL**



Estudio de caso basado en investigación encargada a:

PhD. *Víctor Monzón*
Laboratorio de Ecología de Abejas
Facultad de Ciencias Básicas
Universidad Católica del Maule



PhD. *Luisa Ruz*
Laboratorio de Zoología
Facultad de Ciencias
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso



Edición:

Equipo Proyecto GEF Corredores Biológicos de Montaña (GEFSEC ID 5135).

Contrapartes:

División de Recursos Naturales y Biodiversidad, Ministerio del Medio Ambiente.
División de Información y Economía Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente.
Sección de Recursos Naturales y Biodiversidad, SEREMI Medio Ambiente Región Metropolitana de Santiago.
Laboratorio de Entomología, Servicio Agrícola y Ganadero Dirección Regional Metropolitana de Santiago.

Financiado por:

Proyecto GEFSEC ID 5135 “Protegiendo la Biodiversidad y Múltiples Servicios Ecosistémicos en Corredores Biológicos de Montaña, en el Ecosistema Mediterráneo de Chile”. Ministerio del Medio Ambiente - ONU Medio Ambiente (2016-2021).

Citar como:

MMA - ONU Medio Ambiente. 2018. Estudio de Caso: Determinación del Servicio Ecosistémico de Polinización de Artrópodos Nativos en Agroecosistemas, de la Localidad de Caleu, Til-Til. Basado en investigación encargada a: PhD. *Víctor Monzón* y PhD. *Luisa Ruz*, Universidad Católica del Maule y Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Financiado en el marco del proyecto GEFSEC ID 5135 Ministerio del Medio Ambiente - ONU Medio ambiente. Santiago, Chile. 86pp.

Foto de portada: *Corynura chloris*, *Víctor Monzón*.





Corredores Biológicos
de **Montaña**
Proyecto GEF

Estudio de caso:

**DETERMINACIÓN DEL
SERVICIO DE POLINIZACIÓN
DE ARTRÓPODOS NATIVOS
EN AGROECOSISTEMAS,
DE LA LOCALIDAD
DE CALEU, TIL-TIL**



Bombus dahlbomii - Foto: Víctor Monzón

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1 GLOSARIO | 8 |
| 2 RESUMEN EJECUTIVO | 10 |
| 3 INTRODUCCIÓN | 13 |
| 4 OBJETIVOS | 17 |
| 5 METODOLOGÍA | 18 |
| 5.1 Identificación y caracterización del sitio piloto. | 19 |
| -Área de estudio. | 19 |
| -Caracterización ambiental. | 20 |
| -Caracterización productiva. | 21 |
| -Prácticas de manejo del predio. | 22 |
| 5.2 Programación de actividades de terreno. | 23 |
| 5.3 Caracterización del ensamble de artrópodos polinizadores nativos y exóticos. | 24 |
| -Visitantes florales (cultivo y flora acompañante). | 24 |
| -Fenología y viabilidad floral (cultivo). | 26 |
| -Flora acompañante y palinoteca. | 27 |
| -Estimación del volumen y grados Brix del néctar (cultivo). | 28 |
| 5.4 Aporte de los artrópodos nativos y exóticos a la polinización efectiva. | 28 |
| -Comportamiento recolector (cultivo). | 28 |
| -Estimación de eficacia polinizadora (cultivo). | 29 |
| -Índice de probabilidad de polinización. | 30 |
| 6 RESULTADOS Y ANÁLISIS | 32 |
| 6.1 Ensamble de artrópodos polinizadores y vinculación con el sitio piloto. | 33 |
| -Visitantes florales presentes en el cultivo. | 33 |
| -Indicadores de diversidad, riqueza y abundancia. | 44 |
| -Relación entre presencia de artrópodos, factores abióticos y porcentaje de floración. | 44 |
| -Recursos florales de guindo ácido. | 49 |
| -Flora acompañante del cultivo. | 51 |
| -Visitantes florales de la flora acompañante. | 54 |
| 6.2 Contribución a la polinización efectiva en el sitio piloto. | 56 |
| -Comportamiento recolector. | 56 |
| -Eficacia polinizadora y rendimiento productivo. | 60 |
| -Índice de probabilidad de polinización (PPI). | 62 |
| -Cuantificación general de impactos positivos y valor económico de los beneficios. | 63 |
| -Análisis de costo-beneficio del sitio piloto. | 65 |
| 7 DISCUSIÓN EN TORNO A PRINCIPALES CONCLUSIONES | 67 |
| 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 74 |
| 9 APÉNDICE. Recomendaciones para la protección y establecimiento de artrópodos polinizadores nativos en cultivos agrícolas. | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| Figura 1 | Área delimitada para el estudio en guindo ácido en sitio piloto. Polígono rojo corresponde al estudiado. Polígono amarillo brindó información adicional. | 19 |
| Figura 2 | Sitio piloto durante la floración de guindo ácido. | 24 |
| Figura 3 | Flores encapsuladas para estudio de eficacia polinizadora durante la floración de guindo ácido sitio piloto. | 30 |
| Figura 4 | Medición de parámetros en frutos para análisis de eficacia polinizadora. | 31 |
| Figura 5 | Porcentaje de registro de individuos pertenecientes a los taxa predominantes en sitio piloto. | 33 |
| Figura 6 | Número de visitas registradas por taxa en los diferentes censos diarios realizados en sitio piloto. | 36 |
| Figura 7 | Porcentaje de visitas de la Superfamilia Apoidea (abejas), en sitio piloto. | 37 |
| Figura 8 | Origen de las especies colectadas en sitio piloto. | 38 |
| Figura 9 | <i>Apis mellifera</i> en flores de guindo ácido colectando néctar, nótese presencia de polen en corbícula tibial. | 39 |
| Figura 10 | <i>Bombus terrestris</i> en flores de guindo ácido en sitio piloto, nótese en corbícula tibial la presencia de una masa de polen. | 39 |
| Figura 11 | <i>Caupolicana gayi</i> en flores de guindo ácido en sitio piloto. | 40 |
| Figura 12 | <i>Corynura chloris</i> en flores de guindo ácido en sitio piloto. | 40 |
| Figura 13 | <i>Colletes seminitidus</i> en flores de guindo ácido en sitio piloto. | 41 |
| Figura 14 | <i>Corynura cristata</i> en flores de guindo ácido en sitio piloto. | 41 |
| Figura 15 | Otras abejas nativas en flores de guindo ácido en sitio piloto. | 42 |
| Figura 16 | <i>Astylus trifasciatus</i> en flores de guindo ácido en sitio piloto. | 42 |
| Figura 17 | Coleóptero Familia Cleridae en flores de guindo ácido en sitio piloto. | 43 |
| Figura 18 | <i>Copestylum scutellatum</i> en flores de guindo ácido en sitio piloto. | 43 |
| Figura 19 | <i>Platycheirus chalconota</i> en flores de guindo ácido en sitio piloto. | 43 |
| Figura 20 | Curva de acumulación de especies (N° de especies v/s días de muestreo). | 45 |
| Figura 21 | Frecuencia de registro de visitas florales totales y por taxa en guindo ácido. En donde 1 a 9 son los días de pick de floración y los valores que van de 0 a 3.500, la frecuencia de individuos registrados. | 46 |
| Figura 22 | Gráfico de parámetros ambientales diarios en horarios de censos en un cultivo de guindo ácido en sitio piloto. El 21 de septiembre corresponde al día 1 del pick de floración y así consecutivamente. El día 9 (29 sept.) no se tomaron datos por presencia de llovizna. | 48 |
| Figura 23 | Grano de polen de guindo ácido, fotografiado mediante microscopía óptica. | 50 |
| Figura 24 | Grano de polen de maqui, fotografiado mediante microscopía óptica. | 50 |
| Figura 25 | Grano de polen pequeño (P2) (en análisis), fotografiado mediante microscopía óptica. | 50 |

| | | |
|-------------------|---|-----------|
| Figura 26 | Porcentaje de diferentes granos de polen presentes en cargas polínicas de <i>A. mellifera</i> y de <i>C. cristata</i> . | 52 |
| Figura 27 | Tipos de flora acompañante en relación a floración y al origen en cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 53 |
| Figura 28 | Porcentaje de especies de artrópodos presentes en flora acompañante y en cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 55 |
| Figura 29 | Promedio del número de flores visitadas por minuto y tiempos de forrajeo (en segundos) de las especies más frecuentes en cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 58 |
| Figura 30 | Porcentaje de recursos colectados por las especies más frecuentes en cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 58 |
| Figura 31 | Dimensiones promedio (cm) y peso promedio (gr) de frutos polinizados por artrópodos más frecuentes y con exclusión de polinizadores, en cultivo de guindo ácido. | 63 |
| Figura 32 | Nidos de <i>Colletes seminitidus</i> , abeja nativa residente en el sitio de estudio. | 83 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Cuadro 1 | Registro de especies observadas, tanto en el cultivo de guindo ácido como en su flora acompañante. | 34 |
| Cuadro 2 | Valores de índices de diversidad para el cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 45 |
| Cuadro 3 | Número de visitas totales por censo, temperatura (°C) y humedad relativa (%) promedio durante el periodo de floración de un cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 47 |
| Cuadro 4 | Número de insectos totales, por taxa, y con temperaturas máximas y mínimas durante el periodo de floración de un cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 47 |
| Cuadro 5 | Detalle de temperatura (°C) y humedad relativa (%) durante el periodo de floración de un cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 48 |
| Cuadro 6 | Volumen promedio y porcentaje promedio de Grados Brix obtenidos del néctar de un cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 51 |
| Cuadro 7 | Vegetación acompañante del cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 53 |
| Cuadro 8 | Asociación artrópodo-planta presente en cultivo de guindo ácido en sitio piloto. | 59 |
| Cuadro 9 | Rendimiento productivo de guindo ácido polinizado por artrópodos y con exclusión de polinizadores. | 61 |

GLOSARIO

Abejas gestionadas: Abejas de uso comercial, la más conocida es la abeja de miel (*Apis mellifera*).

Artrópodos: Los artrópodos constituyen el filo más numeroso y diverso del reino animal. El término incluye animales invertebrados dotados de un esqueleto externo y apéndices articulados; entre otros, insectos, arácnidos, crustáceos y miriápodos.

Base de datos Darwin Core: Es un estándar diseñado con el propósito de crear un lenguaje común para publicar y documentar datos sobre registros biológicos y listas de especies.

Bosque caducifolio: Bosque conformado por varios tipos de árboles que pierden las hojas al inicio del invierno. Habitan en zonas con veranos cálidos y a veces secos, e inviernos fríos. También conocido como bosque deciduo.

Bosque esclerófilo: Es una formación vegetal propia de Chile. Se ubica entre la Región de Valparaíso y la Región del Biobío. Se caracteriza por especies con características xeromórficas con el tipo de hojas perenne, duras, que les permiten resistir las sequías veraniegas del clima mediterráneo.

Bosque laurifolio hidrófilo: También llamado selva templada debido a su exuberante vegetación. Es un bosque templado húmedo, perennifolio, nuboso, montano y musgoso, con hojas llamadas laroides por su parecido al laurel.

Botrytis: Moho gris (*Botrytis cinerea*). Es una enfermedad que se visualiza durante la cosecha y al arribo de los mercados de exportación, provocando en ciertas temporadas grandes pérdidas en la exportación de uva de mesa.

Cámara de Neubauer: Es un instrumento utilizado en medicina y biología para realizar el recuento de esporas, polen y células en un medio líquido.

Corbícula tibial: La corbícula o canasta de polen es parte de la tibia de la pata posterior de las abejas la cual sirve para transportar polen.

Eficacia polinizadora: Medición o estimación para determinar el polinizador más eficiente para una especie vegetal.

Especie: Se define a menudo como grupo de organismos capaces de entrecruzar y de producir descendencia fértil.

Especímen: Muestra, modelo o ejemplar que tiene las cualidades o características que se consideran representativas de la especie a la que pertenece.

Fenología floral: Estudia el comportamiento de las plantas en relación a diferentes factores.

Grados brix: Son una unidad de cantidad (símbolo °Bx) y sirven para determinar el cociente total de materia seca (generalmente azúcares) disuelta en un líquido.

Micropipeta: Instrumento de laboratorio que sirve para medir volúmenes muy pequeños del orden de los microlitros.

Monilia: Es un género de hongos en la familia Sclerotiniaceae. Los hongos Monilia son pató-

genos para Rosaceae y Ericaceae y a menudo causan pérdidas importantes en los cultivos.

Oligoléctico: Que coleccionan polen de un número limitado de especies de plantas, en general, miembros de un solo género. También llamados especialistas.

Palinoteca: Colección de pólenes de distinto origen y distribución geográfica.

Poliléctico: Que coleccionan polen de muchas plantas, también el término se conoce como generalistas.

Refractómetro: Instrumento de laboratorio que sirve para medir los grados Brix.


Tubos eppendorf: Es un pequeño contenedor cilíndrico de plástico, con un fondo cónico y típicamente una tapa unida al cuerpo del tubo para evitar su desprendimiento.

Tubos microcentrífuga: Pequeño tubo para ser utilizado en microcentrífugas.

Vida floral: Número de días que permanece abierta y receptiva una flor.

Visitantes florales: Animales que están presentes en las flores de diferentes especies vegetales y que no necesariamente la polinizan.

Vórtex: Equipo de laboratorio que se utiliza para agitar tubos con muestras debido a la rotación que este ejerce.



RESUMEN EJECUTIVO

Los principales objetivos de esta consultoría fueron caracterizar el ensamble de artrópodos polinizadores nativos y exóticos que visitan un sitio piloto, describir el aporte de los artrópodos nativos y exóticos en relación a la polinización efectiva en un sitio piloto, y cuantificar los impactos y estimar el valor económico de los beneficios que pueden generar en éstos.

Para el cumplimiento de ello se trabajó un cultivo de guindo ácido (*Prunus cerasus*) en Caleu, Tiltil, con un tipo de manejo convencional (no orgánico), pero que no contrataba colmenas de *A. mellifera* y se encontraba rodeado de vegetación nativa. El desarrollo de la consultoría se extendió entre septiembre 2017 y junio

de 2018. Ahora bien, la toma de datos en terreno se desarrolló mayoritariamente durante el pick de floración del guindo ácido (20 al 30 de septiembre de 2017), aunque también se hizo seguimiento de la fructificación (octubre y noviembre 2017) y se recolectó flora nativa acompañante antes, durante y después de la floración.

Como resultado de las diversas actividades desarrolladas, se obtuvo un total de 18.342 registros de visitantes florales, pertenecientes a cuatros órdenes predominantes: Hymenoptera, Diptera, Coleoptera, y Lepidoptera. Dentro de las Himenópteras, *Apis mellifera* fue la especie más numerosa tanto de este

taxa como de todas las especies censadas, llegando a contabilizarse 15.873 individuos (86,5% del total de registros), y correspondería a poblaciones silvestres. También hubo presencia de otros polinizadores nativos, reconociéndose más de 10 especies de abejas nativas, entre ellas *Corynura cristata*, *Colletes seminitidus*, *Caupolicana gayi* y *Corynura chloris*, además de Dípteros de la familia *Shirphidae* conocidos comúnmente como moscas florícolas. La mayor cantidad de artrópodos polinizadores se observó al mediodía, en días con temperaturas máximas por sobre los 20°C y mínimas por sobre 8°C, y cuando la humedad relativa fue la más baja (52,2%).

Los artrópodos distintos de *A. mellifera* representaron aproximadamente un 13,5% de los individuos que visitaron las flores del huerto. El rol de otros visitantes florales queda enmascarado por la gran cantidad de individuos que conforman las colmenas silvestres de *A. mellifera*, o bien se ven afectados por su presencia al competir por el recurso. En todo caso, otros estudios indican que las especies de polinizadores nativos, en cultivos y huertos de especies exóticas, complementan el trabajo de *A. mellifera*, aumentando las flores polinizadas.

Se extrajo el polen que transportaban las dos abejas más registradas, que correspondieron a la abeja nativa *Corynura cristata* y a la abeja de miel *A. mellifera*. Los resultados señalan que ambas transportan porcentajes similares de polen de guindo ácido (81% y 82% respectivamente), además de otros tipos de pólenes, entre ellos polen de maqui. Solo se diferenciaron en que *A. mellifera* presentó mayor variedad de pólenes, por lo que *C. cristata* tal vez podría ser más especialista. Por otro lado, el estudio del comportamiento recolector, indicó que un 26,9% de las visitas de *A. mellifera* a las flores de guindo ácido, son para coleccionar polen y polen junto con néctar, permaneciendo un promedio de 6,3 segundos en cada flor. Las abejas nativas, en tanto, que fueron los artrópodos con segunda mayor frecuencia, visitan las flores en un 91,6% para coleccionar polen y polen junto con néctar, y permanecen alrededor de 27,7 segundos en cada flor. Comparado con *A. mellifera*, las abejas nativas claramente están más tiempo en flor, y principalmente motivadas por el polen. Esta conducta favorece la polinización pues al estar más tiempo en la flor hay mayores probabilidades de que su visita sea realmente efectiva y con la consecuente formación de frutas y semillas.

El índice de probabilidad de polinización de la abeja nativa *C. cristata* resultó ser 0,75, valor más cercano a 1, lo que significa que esta especie tiene una mayor probabilidad de ser un polinizador efectivo de guindo ácido, en comparación con *A. mellifera*, que a pesar de haber sido la especie más frecuente, obtuvo un valor de 0,22, lo que puede deberse a que un porcentaje alto de sus visitas al cultivo son solo en busca de néctar.

Considerando que el predio se encontraba rodeado de vegetación nativa, el estudio observó que esta provee de recursos alimenticios y de zonas de establecimiento de poblaciones tanto de polinizadores nativos como de la propia abeja melífera asilvestrada, siendo fundamentales para su desarrollo y

sobrevivencia. En este sentido, la flora acompañante atrae a los artrópodos, representando un recurso alimenticio antes y después de que el pick de floración del cultivo ha terminado, permitiendo que los artrópodos puedan terminar su periodo de reproducción, establecer sus poblaciones para el año siguiente en el mismo lugar, y asegurar visitantes florales para una próxima temporada. En cuanto al suelo, es muy relevante el conservarlo sin remoción, ya que podrá servir de zona de nidificación para los artrópodos que construyen sus nidos en este tipo de sustrato, como por ejemplo algunas abejas nativas. Del mismo modo se debe bajar la carga de agroquímicos para evitar la disminución de polinizadores, pues es una de las mayores causas asociada a su declive.

3

INTRODUCCIÓN

Se conoce como polinización biótica a los procesos mutualistas entre plantas, que requieren movilizar su polen hasta estigmas coespecíficos, y animales, que pueden encontrar en las plantas recursos alimenticios. Estos procesos hoy son valorados y reconocidos por las sociedades humanas como servicio ecosistémico de polinización (Nates-Parra, 2017).

Al respecto, los artrópodos silvestres han sido reconocidos como importantes polinizadores de la flora de los ecosistemas, y su papel en las

interacciones ecológicas planta-polinizador ha sido fundamental para entender la evolución de las plantas. De hecho,

El 87% de las especies cultivadas en la agricultura, que representan un 35% del suministro global de alimentos, se ven beneficiadas por la polinización que realizan animales.

aproximadamente el 78% de las especies de plantas con flor de climas templados, así como el 94% de las de climas tropicales, son favorecidas por animales para sus procesos de polinización, lo que equivale a más del 87% de todas las especies de angiospermas conocidas (Bonnilla, 2012; Mayer et al., 2011; García et al., 2016). En el ámbito agrícola, el 87% de las especies cultivadas, que representan un 35% del suministro global de alimentos, se ven beneficiadas por este proceso (Hoehn et al., 2008; Klatt et al., 2014; Mallinger y Gratton, 2015; García et al., 2016). Así, desde el punto de vista de los servicios ecosistémicos que nos da la naturaleza, la polinización efectuada por artrópodos en cultivos agrícolas es esencial para la productividad de estos mismos (Garibaldi et al, 2013; Winfree et al 2018; Kremen 2013; 2018), generando un valor económico que asciende a más de 153 billones de euros, o el equivalente al 9,5% del total de la producción agrícola (Ricou et al, 2014; Vilhena et al., 2012; García et al.,2016).

Ahora bien, los requerimientos de polinización en cultivos son frecuentemente compensados mediante la introducción de *Apis mellifera* o abeja de miel, especie europea domesticada por el

hombre. Esta especie se posiciona como el principal polinizador comercial en la mayoría de las zonas de actividad agrícola alrededor del mundo, debido a que es dócil y manejable y se encuentra disponible en grandes densidades. Además de ello, se destaca por la extensión de su período de vuelo (primavera-verano) y su carácter generalista, (que colecta polen de una gran diversidad de plantas). En Chile al igual que otros países, se usa tradicionalmente *A. mellifera* para suplir la demanda del servicio de polinización, siendo introducida para ello en 1848.

Pese a esto, según FAO (2016), en Chile existiría un número de colmenas de *A. mellifera* inferior al que se estima como óptimo para los cultivos de frutas y semi-

El servicio de polinización que prestan las abejas melíferas no puede dar abasto con las necesidades del sector hortofrutícola, por lo que se hace fundamental volver la mirada hacia los artrópodos nativos.

llos. Sumado a ello, estudios señalan que existiría un declive en las poblaciones de polinizadores alrededor del mundo (García et al., 2016), incluyendo a las de *A. mellifera*, pues presentan una disminución de sus colonias debido a varios factores de relevancia mundial, como el síndrome “*Colony Collapse Disorder*”, el Loque americana y Varroa. Dado todo esto, el servicio actual de *A. mellifera* sin lugar a dudas no puede dar abasto con las necesidades que hoy día demanda el sector hortofrutícola, por lo tanto, se hace fundamental volver la mirada hacia los artrópodos nativos y su rol en la polinización productiva para cubrir las necesidades crecientes de los cultivos de importancia económica para el país (Monzón, 2011). De hecho en San Diego, California (Estados Unidos), se demostró recientemente que el efecto de sacar a *A. mellifera* de la polinización de la planta *Deinandra fasciculata*, sólo reduce en un 14% la producción de frutos y semillas, con lo que se evidenció que el ensamble de insectos nativos juega un rol importantísimo en el servicio de polinización de dicha planta (Nabors et al, 2018).

Ahora bien, los polinizadores nativos no son ajenos a dificultades a la hora de desarrollar su labor. En primer

Los polinizadores nativos se ven afectados por los agroquímicos, la fragmentación de sus hábitats y la urbanización de sus zonas de nidificación. Además, la utilización de polinizadores exóticos pueden contribuir a la reducción de sus poblaciones, puesto que compiten por sus recursos (polen, néctar, hábitat) o pueden transmitirles enfermedades.

lugar, no están libres de los efectos de pesticidas, fungicidas y herbicidas, que sumados a la fragmentación de sus hábitats y a la urbanización de sus zonas de nidificación, han generado una disminución de sus poblaciones. Por otro lado, las investigaciones sobre polinización en Chile son escasas en cuanto a polinizadores nativos, pues se concentran más en polinizadores exóticos como es el caso de *Megachile rotundata*,

introducido en los años 70' para polinizar alfalfa, y *Bombus terrestris*, introducido a nuestro país en 1997 para polinizar tomates de invernadero. En esta línea, otro aspecto relevante a considerar es que la utilización de polinizadores exóticos para la actividad agrícola puede implicar riesgos para la biodiversidad nativa. La introducción de colmenas de *A. mellifera* en una superficie cultivada, supone la presencia de decenas de miles de obreras que compiten con la fauna polinizadora nativa, afectando negativamente a esta última (Wratt, 1968; Roubik, 1978; Eickwort y Ginsberg, 1980). Otro caso de afectación es el de *Bombus dahlbomii*, abejorro nativo de Chile y Argentina que ha visto disminuidas sus poblaciones

debido a patógenos transmitidos por *B. terrestris* (considerada hoy una especie invasora) (Morales et al., 2016). De hecho, su situación ha conllevado a que *B. dahlbomii* se encuentra clasificado en la categoría “En Peligro de Extinción” de acuerdo al Reglamento de Clasificación de Especies del Ministerio del Medio Ambiente (Proceso 12°, DS 16/2016 MMA).

Dado este contexto, esta consultoría pretende valorar el rol de los artrópodos nativos, y específicamente de las abejas nativas, en la polinización agrícola, haciendo un ejercicio piloto en un predio de guindo ácido situado en Caleu, sector ubicado dentro del área del proyecto GEF Montaña.

4

OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar la contribución del servicio de polinización a los agroecosistemas, por especies de artrópodos polinizadores nativos, en un sitio piloto ubicado en el área del proyecto GEF Montaña.

Objetivos específicos:

- 1)** Caracterizar el ensamble de artrópodos polinizadores nativos y exóticos que visitan el sitio piloto.
- 2)** Describir el aporte de los artrópodos nativos y exóticos en relación a la polinización efectiva en el sitio piloto, cuantificar los impactos y estimar el valor económico de los beneficios que pueden generar en éstos.
- 3)** Entregar recomendaciones de manejo que potencien el servicio de polinización realizado por artrópodos nativos en el sitio piloto.



5

METODOLOGÍA

Colletes seminitidus. Foto: Víctor Monzón

5.1 | IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SITIO PILOTO

El sitio piloto elegido en conjunto con la contraparte técnica de la consultoría está ubicado en Caleu, comuna de Til Til, provincia de Chacabuco, Región Metropolitana de Santiago (X: 312844.83401485794, Y: 6342125.653738356), dentro del área del Proyecto GEF Corredores Biológicos de Montaña. Se encuentra a 68 kilómetros al noroeste de Santiago y está compuesto por cuatro sectores o villorrios: Espinalillo, Lo Marín, El Llano y La Capilla. En el sector denominado “El Llano” es donde se encuentra el sitio piloto del estudio y el sector “La Capilla” es el que tiene directa cercanía con el Santuario de la Naturaleza Cerro el Roble. Al sitio

piloto suele llamársele por los lugareños como “Cuartel El Nogalillo”.

Área de estudio

El área facilitada específicamente para el desarrollo del estudio correspondió a una superficie de 386 m² con 30 árboles de guindo ácido dispuestos en 5 hileras de 6 árboles cada una, y que se encuentra a una altitud de 1.299 m.s.n.m (polígono rojo en [Figura 1](#)). Se aprovechó también el área aledaña a la del estudio, con árboles de guindo ácido que florecieron más tempranamente y que favorecieron la obtención de información anexa para el estudio (polígono amarillo en [Figura 1](#)).



Figura 1 |

Área delimitada para el estudio en guindo ácido en sitio piloto. Polígono rojo corresponde al estudiado. Polígono amarillo brindó información adicional.
Fuente: *Víctor Monzón*.

Caracterización ambiental

El clima para esta zona es de tipo mediterráneo, el cual se caracteriza por la existencia de una estación lluviosa en invierno, la cual se da entre mayo y agosto, y un período seco más prolongado, entre septiembre y abril (Cabello et al., 1997). El factor que define el clima mediterráneo es la presencia del frente polar, el Anticiclón del Pacífico Sur (Cabello et al., 1997). Específicamente en el sector de Caleu, predomina un microclima típico de valles ubicados en zonas altas, en donde es mayor el efecto de la radiación solar, por lo que hay mayor cantidad de días despejados. Sin embargo, recibe abundante humedad gracias a la influencia de neblinas provenientes de la costa (Moreira, 1999).

Según Mercado y Henríquez (1987) esta zona de Caleu y Runge tienen un clima local del tipo Sotavento, lo que producto de la exposición sur favorece condiciones apropiadas para la presencia del bosque esclerófilo y bosque laurifolio hidrófilo. Por otro lado, en los sectores más altos, bajo exposiciones sur y sureste, se desarrolla una gran área de bosque caducifolio. En cuanto al suelo, este sector está compuesto principal-

mente por limo y arcilla (Rugiero, 2006).

Según Cabello et al. (1997), entre los 350 y 1.000 m.s.n.m. se encuentra el bosque esclerófilo constituido principalmente por *Cryptocarya alba* (peumo) y *Peumus boldus* (boldo), con estrata herbácea con helechos y abundantes enredaderas. En épocas de gran humedad forman parte de este bosque especies como: *Persea meyaniana* (lingue), *Lardizabala funaria* (boquilla), *Blechnum hastatum* (quilquil), entre otras. Las especies *Quillaja saponaria* (quillay) y *Lithraea caustica* (litre) también es posible encontrarlas en este tipo de bosques, asociadas a una estrata arbustiva con presencia de *Kageneckia oblonga* (bollén), *Colliguaja odorífera* (colliguay), *Ageratina glechonophylla* (barba de viejo), *Retanilla trinervia* (tevo), *Adiantum chilensis* (palito negro), entre otras (Cabello et al., 1997).

Se presenta además, entre cajones montañosos con alta humedad y en zonas bajas (aproximadamente 500 m.s.n.m.), un bosque laurifolio higrófilo. En este tipo de bosques se presentan especies vegetales como: *Cryptocarya alba* (peumo), *Proustia pyrifolia* (parrilla blanca), *Aristotelia chilensis* (maqui), *Luma chequen* (arrayán), *Rhaphitham-*

nus spinosus (arrayán macho o espino blanco) y *Crinodendron patagua* (patagua) (Cabello et al., 1997).

El sitio de estudio se encuentra rodeado de vegetación nativa, presente tanto en las laderas que lo rodean como en el sitio mismo, pudiéndose reconocer árboles como *Quillaja saponaria* (quillay), *Maytenus boaria* (maitén), *Azara integrifolia* (corcolén), *Peumus boldus* (boldo), *Schinus latifolius* (molle) y entre los arbustos varios especímenes de *Baccharis sp.*, *Solanum sp.*, *Sophora macrocarpa* (mayo), *Loasa tricolor* (ortiga caballuna), entre otros propios del bosque esclerófilo y laurifolio higrófilo indicado para la zona. Por lo anterior, desde el punto de vista de la flora acompañante del cultivo, ésta existe y es representativa de la vegetación nativa del lugar, característica importante considerada en la selección del sitio de estudio.

Caracterización productiva

El sitio piloto corresponde a un huerto de 10 hectáreas en donde los cultivos principales son: guindo ácido, de unos 20 años de edad aproximadamente y de nogal, de 25 a 30 años apro-

ximadamente. El cultivo predominante es *Prunus cerasus* (guindo ácido), encontrándose alrededor de 2.500 árboles en el predio. Este frutal nativo de Europa y sudoeste de Asia, está estrechamente emparentado con *Prunus avium* (cerezo silvestre), también conocido como cerezo dulce, sin embargo, su fruta es más ácida, de ahí su nombre. Esta fruta suele ser muy utilizada en preparaciones culinarias y de bebidas alcohólicas, del mismo modo la guinda ácida corresponde al marrasquino (guinda marrasquino) tan presente en tortas y pasteles de la pastelería chilena y mundial.

La producción anual del predio, según información del propietario, se destinó históricamente para la confección del bombón marrasquino de una empresa de galletas y chocolates de Viña del Mar, en la Región de Valparaíso. Sin embargo, las exigencias del mercado para el producto, como la selección de tamaños de la fruta, y disminución del precio, hicieron que la producción dejara de entregarse a esta empresa. Hoy en día la producción completa se cosecha y se deja secar sobre mallas “Raschel” entre 4 a 6 días dependiendo de las temperaturas diarias. Posteriormente la producción es vendida para la utilización

de licores. La producción anual de la temporada 2017 (temporada de estudio) llegó a 23.000 kg, catalogándose como una producción muy buena por el propietario y administrador del predio.

Prácticas de manejo del predio

En cuanto al manejo agrícola de los cultivos del sitio piloto, este es del tipo convencional y no orgánico. Según lo informado, habitualmente se realiza la aplicación de solo dos productos fitosanitarios, un fungicida y un insecticida. En el caso de la primera categoría el producto aplicado era Sumisclex 50W, mientras que el segundo no fue informado. Al respecto, se puede señalar que los insecticidas se encuentran entre las herramientas agrícolas más asociadas al daño ambiental. Su objetivo específico es matar plagas de insectos y por consecuencia puede tener un impacto letal o subletal en organismos que no son su objetivo (por ejemplo, recicladores de nutrientes de suelo, polinizadores de plantas y depredadores de plaga) y reducir o contaminar productos alimenticios para los niveles tróficos superiores (Devine et al., 2008). Con respecto al fungicida Sumisclex 50W, es un producto que tiene

como ingrediente activo Procimidona, perteneciente al grupo químico Dicarboximidias, que según el Manual de la AFIPA (2017) controla las enfermedades Botrytis y Monilia, sin embargo se recomienda no más de tres aplicaciones en la temporada del cultivo.

Respecto de la aplicación de productos fitosanitarios en el sitio piloto, ésta podría mejorarse en beneficio de la seguridad de quienes las realizan, de la calidad sanitaria del cultivo y de su entorno. Uno de los aspectos a considerar en este ámbito es que los trabajadores utilicen elementos de protección personal (gafas, mascarilla con filtros, botas y traje lavable). Debe tenerse en cuenta la hora y la temperatura ambiente al momento de aplicar los productos, pues pueden influir en la efectividad de los mismos. También debiera considerarse la dirección y velocidad del viento al aplicar los productos, pues permite evitar la condición de deriva de estos (AFIPA recomienda no aplicar con más de 6 a 8 Km/Hr). También debiera respetarse un tiempo de reingreso al huerto luego de la aplicación, que en el caso de Sumisclex 50W es de 12 hrs (AFIPA, 2017). Por otra parte, la práctica de aplicar reiterativamente los mismos productos, aumenta

la probabilidad de resistencia de la plaga o enfermedad hacia el producto fitosanitario (FAO, 2012).. Por último, en y en cuanto a los desechos, es recomendable realizar un manejo de los restos de poda, con fin de evitar que el apilamiento en los centros de las mesas de plantación, generen una mayor humedad y temperaturas que propicie la reproducción de hongos.

Una de las características positivas del sitio piloto y del cultivo es la presencia de vegetación de borde o flora acompañante, la cual no es removida manualmente ni se utiliza químicos para eliminarla. Esto sumado a que el sitio piloto está rodeado de vegetación nativa del tipo bosque esclerófilo y estrata herbácea, se favorece el establecimiento de polinizadores del tipo artrópodos.

Es importante señalar que para este predio no se arriendan abejas gestionadas como *A. mellífera* (abejas de miel) para el servicio de polinización. Esta característica fue importante en la etapa de elección de este sitio piloto y se debe tener en consideración para otros estudios similares, pues hay investigaciones que demuestran cierta competencia por recursos florales entre las abejas nativas

y la abeja de miel, lo que podría influir en el rol de los otros polinizadores (Shavit et al., 2009). Pese a ello, durante el desarrollo de la consultoría, se pudo constatar la presencia de varios individuos asilvestrados de *A. mellífera*, siendo predominante su presencia.

5.2 | PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES DE TERRENO

El periodo de estudio en terreno comenzó a principios de septiembre del 2017 con el reconocimiento del lugar y toma de coordenadas geográficas mediante GPS. Se colectó muestras de la vegetación acompañante de floración temprana (antes de floración de guindo ácido) y se realizó marcaje de los árboles para los distintos experimentos, entre otras actividades. Posteriormente, entre el 20 y 30 de septiembre del 2017 (Figura 2) se llevó a cabo la toma de datos durante el pick de floración de guindo ácido. Durante este periodo se controlaron variables abióticas como temperatura (T°C) y humedad relativa (HR%) diarias, para caracterizar climáticamente el sitio y a la vez relacionar dichos factores

**Figura 2 |**

Sitio piloto durante la floración de guindo ácido.
Fuente: *Víctor Monzón*.

con la floración del cultivo y de la vegetación acompañante y con el comportamiento del ensamble de artrópodos. Del mismo modo, se ejecutaron las diversas actividades asociadas al cumplimiento de los objetivos de la consultoría. Posteriormente entre los meses de octubre y noviembre del 2017, se visitó el área para el seguimiento de la fructificación, como parte de los experimentos de eficacia polinizadora. Del mismo modo durante estos meses, se efectuó la recolección de la vegetación acompañante de floración tardía (después de la floración de guindo ácido) asociada al cultivo.

5.3 | CARACTERIZACIÓN DEL ENSAMBLE DE ARTRÓPODOS POLINIZADORES NATIVOS Y EXÓTICOS

Visitantes florales (cultivo y flora acompañante)

Para dar respuesta a la actividad asociada al registro e identificación de artrópodos polinizadores, se realizaron censos de artrópodos presentes en árboles de guindo ácido, actividad que sirvió para determinar frecuencia y diversidad de individuos por especies diarios y en diferentes horarios. Los censos consistieron en observar los artrópodos visitantes (visitantes florales) presentes

en 15 árboles marcados al azar (cada árbol se tomará como una repetición), por 5 minutos cronometrados (cronómetro modelo 500 LAP SPLIT MEMORY), divididos en 5 etapas de 1 minuto cada una, teniendo como resguardo el recorrer el árbol en el que se están haciendo las mediciones completamente, esto disminuye el error que se produciría al medir solo en una parte del árbol (método modificado por Monzón). Los censos se realizaron en 4 diferentes momentos del día (9:00, 12:00, 15:00 y 18:00 horas) para ampliar las posibilidades de observación de artrópodos dependientes de temperatura, humedad y radiación solar.

Para una mejor identificación de los artrópodos registrados se procedió a la colecta de especímenes mediante red entomológica, que fueron guardados a 4°C para evitar su deterioro, para luego realizar montaje de ellos para su preservación. Posteriormente, los especímenes se sacaron del congelador y se etiquetaron con información relativa al lugar de colecta, fecha de la colecta, nombre del colector, y planta en la que fue colectado. Del mismo modo, se realizó un registro fotográfico de las especies de artrópodos visitantes florales para apoyar la determinación de los especímenes.

A continuación en el laboratorio, los especímenes colectados así como los registros fotográficos, fueron determinados sistemáticamente a diferentes niveles taxonómicos con la ayuda de claves dicotómicas que están a disposición en el Laboratorio de Ecología de Abejas de la Universidad Católica del Maule y en el Laboratorio de la Dra. Luisa Ruz en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Así, se obtuvo una colección entomológica y un registro fotográfico de los artrópodos presentes en el cultivo de guindo ácido y de la flora acompañante del sitio piloto.

Tanto los especímenes colectados como los registros fotográficos, serán resguardados en la colección entomológica del Laboratorio de Ecología de Abejas de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Católica del Maule, así como en la colección entomología de abejas de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Del mismo modo los registros de los visitantes florales presentes en guindo ácido, obtenidos durante la asesoría, se traspasaron a la base de datos Darwin Core facilitada por la contraparte para ser incorporados a la plataforma GBIF Chile.

Para evaluar los visitantes florales en la vegetación acompañante, a diferencia de la metodología utilizada en cultivo, se determinó su presencia en base a la observación y colecta de ellos en las diferentes especies vegetales, a lo largo del día y del periodo del estudio.

Una vez obtenidos todos los datos requeridos en esta etapa se calcularon varios índices, entre ellos: de diversidad, riqueza de especies y abundancia. Se utilizaron como medidas de biodiversidad el índice de Shannon (1949). Se construyó una curva de riqueza de especies acumulada en función al esfuerzo realizado. La curva de acumulación de especies se elaboró en base al número de especies encontradas y a los estimadores de riqueza de especie según Gotelli & Colwell (2001).

Por otra parte, se registraron diariamente temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) a la sombra con un termómetro (Multi-Thermometer), humedad relativa (% HR) y velocidad del viento (Km/Hr) con un sensor (CHY 361 Anemometer) en la zona en estudio, para caracterizar mediante parámetros ambientales el sitio piloto y área de estudio y correlacionar la frecuencia de individuos (visitantes florales) con estas variables abióticas.

Fenología y viabilidad floral (cultivo)

En esta actividad se seleccionaron 10 árboles de guindo ácido, elegidos al azar dentro del área de estudio, y en ellos se marcaron 4 ramas orientadas hacia los 4 puntos cardinales (norte, sur, oeste y este). Esto se realiza así para disminuir el error por efecto de la radiación solar en la medición, que podría generar mayor cantidad de flores abiertas en aquellas ramas más expuestas a una mayor radiación. En los árboles seleccionados se procedió a contar todos los botones florales, y posteriormente las flores abiertas diariamente, de esta manera se obtuvo el porcentaje (promedio) diario de la apertura de flores de este frutal.

Del mismo modo, se determinó la viabilidad de las flores (vida floral) de guindo ácido en las condiciones de la zona de estudio y se comparó con la señalada en bibliografía. Para esta actividad se utilizaron los mismos árboles utilizados para fenología floral, cuidando de elegir ramas diferentes. Se marcaron 10 flores al azar en cada árbol (100 flores totales) y se registraron el día en que la flor se abre y el día en que se marchita (estambres, pistilo y pétalos oxidados). Estas actividades se efectuaron para relacionar la frecuencia de visitantes flora-

les con la curva de floración del cultivo.

Flora acompañante y palinoteca

La vegetación que se consideró como flora acompañante del cultivo fue aquella que se encontró en un rango entre 1 y 2 metros del área seleccionada del estudio. Se colectaron muestras de los especímenes de flora en tres momentos en el sitio de estudio, antes de la floración del guindo ácido (flora temprana), durante la floración del guindo ácido (flora coincidente) y después de la floración del cultivo (flora tardía). Así se obtuvo un calendario de floración de la vegetación acompañante. Posteriormente se realizó su determinación taxonómica en el laboratorio de Ecología de Abejas, utilizando claves y bibliografía ad hoc. Así también se caracterizó el sitio de estudio en cuanto a la vegetación nativa y exótica. Las muestras de los especímenes fueron registradas y resguardadas en el herbario del propio Laboratorio, pasando a formar parte del mismo.

Por otra parte, se formó una palinoteca conteniendo polen de guindo ácido y de la flora acompañante del cultivo. Esto servirá, posteriormente, para identificar en las cargas polínicas de los visitantes florales su presencia, así se

podrá establecer porcentajes en ellos, evaluando por ejemplo si un visitante floral va efectivamente o no por el polen de guindo ácido o colecta el de otro tipo de vegetación. Para esto se colectó el polen de flores recién abiertas y se siguió el protocolo de análisis de polen de acuerdo a Maêda (1985). Este consiste en:

- 1.** Extraer con una pinza el polen desde anteras o patas o cuerpo de abeja, pan de polen, según se requiera y depositarlo en un tubo de microcentrífuga (Eppendorf Research). Todo esto ayudado de una lupa para así poder llevar a cabo esta tarea con mayor rigurosidad.
- 2.** Utilizar tubo con capacidad para 1.5 ml. Agregar 1 ml de solución ácido láctico con glicerina, proporción 3:1, si dispone de una cantidad menor de polen se puede utilizar un tubo de 1 ml y agregar 0.5 ml de solución.
- 3.** Macerar con un homogenizador, ser muy cuidadoso de no aplicar mucha fuerza.
- 4.** Agitar la muestra con ayuda del vórtex (Velp®) por dos minutos (utilizar 25 Hz de frecuencia aprox.).
- 5.** Transferir una alícuota (0.3 ml aprox.)

a una cámara de Neubauer (Precicolor HBG 0,100mm), si sobra contenido en la micropipeta (Eppendorf Reseach) devolver al tubo. Se recomienda usar micropipeta 1000 ul (Eppendorf Reseach).

6. Llevar la cámara de Neubauer (Precicolor HBG 0,100mm) al microscopio óptico compuesto (Olympus CX21), identificar granos de polen y luego contar.

7. Contar 10 campos (5 campos de cuadrículas superiores y 5 campos de cuadrículas inferiores).

8. Calcular media de los 10 campos y multiplicar por 2000. Este resultado se lee: X granos de polen (resultado del producto de la media por 2000) por 1 ml (Carmo y Franceschinelli, 2002). Luego de hacer todo este protocolo para extraer el polen, se procede a extraer 1 µm desde la solución del tubo de 1,5 ml (Eppendorf) y llevar al portaobjeto, para comparar las muestras obtenidas con las de la colección del laboratorio de Ecología de Abejas y con la bibliografía existente.

Las muestras de polen, de acceso público, fueron almacenadas en el Laboratorio de Ecología de Abejas de la Facultad de Ciencias Básicas de la

Universidad Católica del Maule.

Estimación del volumen y grados Brix del néctar (cultivo)

Entre los recursos florales que el guindo ácido entrega a sus visitantes florales está el néctar. Al respecto, con un refractómetro (Atago automatic 0,0-33,0% y Atago Automatic 30,0-60,0%) se pudo obtener los grados Brix (porcentaje de azúcar) del néctar del guindo y el volumen, cantidad de néctar producido (expresada en microlitros) mediante una micropipeta (Eppendorf Reseach) de 10µl. Para esto se seleccionaron 12 flores recién abiertas y se procedió a extraer con una micropipeta el volumen de néctar producido, una vez medido su volumen la gota era depositada en el refractómetro para medir los grados brix.

5.4 | APORTE DE LOS ARTRÓPODOS NATIVOS Y ÉXOTICOS A LA POLINIZACIÓN EFECTIVA

Comportamiento recolector (cultivo)

En esta actividad se describió, específicamente la conducta de forrajeo

(pecoreo) de los artrópodos polinizadores nativos y exóticos que visitaron las flores de guindo ácido. Esto consistió en primer lugar en buscar algún artrópodo presente en las flores de guindo ácido en 15 árboles elegidos al azar, para luego observar y transcribir su comportamiento mientras se sigue hasta perderlo de vista. La transcripción de lo observado se realizó mediante el registro oral en una grabadora portátil (Philips-Voice Tracer). Consecutivamente en el laboratorio, se revisaron las grabaciones y se traspasó la información a plantillas Excel para su análisis posterior. Para cada individuo de las especies observadas se registró y obtuvo: número de flores visitadas por minuto, número de flores visitadas por árbol, tiempo en cada flor que visita, si realiza o no contacto efectivo (toca estigma), si se intercambia a árbol adyacente y entre hileras (Monzón et al., 2004).

Estimación de eficacia polinizadora (cultivo)

Para el estudio de la eficacia polinizadora se seleccionaron ramas de árboles de guindo ácido con botones florales no abiertos para poder encapsularlos (100 botones florales). Esto se realizó con bolsas de tul adecuadas para

descartar la entrada a la flor de visitantes florales y para no afectar la natural apertura del botón floral ni el microambiente de cada flor (Figura 3). Una vez ejecutado esto, se realizaron observaciones diarias de apertura del botón floral, y una vez abierta la flor se procedió a sacar la bolsa que cubría la flor y a esperar la visita de algún artrópodo polinizador. Una vez que esto ocurrió y que se constató que la visita fue efectiva, es decir el artrópodo tocó el estigma de la flor con su cuerpo o patas, se procedió a volver a cubrir la flor para evitar la visita de otros artrópodos posteriormente. Finalmente, se etiquetó la flor con una marca que indica la especie que visitó la flor, lo que luego se relaciona con el registro escrito del evento.

Pasada la floración del guindo ácido se verificó el cuajado de la flor, lo que determina si la visita de la abeja (u otro artrópodo) fue efectiva o no. Para esto se sacaron las bolsas que cubrían las flores y se registraron los resultados. Posteriormente, antes de la cosecha de la fruta, la que fue en enero, y una vez pasada la caída natural de frutos, se procedió a un nuevo registro de la fructificación. En esta última etapa de esta actividad, se colectaron los frutos formados, para análisis posterior en el laboratorio.



Figura 3 | Flores encapsuladas para estudio de eficacia polinizadora durante la floración de guindo ácido sitio piloto. Foto: Víctor Monzón.

En esta evaluación se comparó el número de frutos producidos y la calidad de éstos considerando: tamaño y peso del fruto por especie visitante y por exclusión de polinizadores, ya que se dejó como control flores embolsadas pero sin visitas de ningún artrópodo (Figura 4).

Índice de probabilidad de polinización

Paralelo al estudio anterior de eficacia polinizadora, se determinó el índice de probabilidad de polinización (PPI) para las abejas más frecuentes en el

cultivo de guindo ácido que resultaron ser *A. mellifera* (abeja de miel) y para *Corynura cristata* (abeja nativa) (Figura 7 presenta los porcentajes de registro), utilizando para esto los estudios realizados por Pinilla-Gallego & Nates-Parra (2015) y por Néman et al., (1999). El PPI asigna valores entre 0 y 1 (valores de probabilidad). Teniendo un valor cualquiera más próximo a uno, una mayor probabilidad de ser el polinizador probable del cultivo y un valor cualquiera más cercano a cero, un polinizador menos probable del cultivo.

El PPI (Pollination Probability Index) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{PPI} = \text{PCP} \times \text{PBP}$$

En donde: PCP (Proportion of Conspecific Pollen) es la proporción de polen de la planta de interés presente en la cabeza del insecto. PBP (Proportion of Bees carrying Pollen) es la proporción de individuos de una especie que transportan el polen de la planta de interés.

Por otra parte, la caracterización morfológica del polen de guindo ácido, así como la de las especies florales acompañantes (flora acompañante)

servió para identificar el tipo de polen y su porcentaje presente en las cargas polínicas y en pelos de los cuerpos de las especies *A. mellifera* y *C. cristata*. Para esto se colectaron 10 especímenes de cada especie de abeja y se les procedió a extraer con pinzas el polen adherido, según protocolo indicado en apartado Formación de una palinoteca de referencia. Así, se pudo establecer porcentajes de cada tipo polínico en ellos, evaluando su eficiencia e importancia en la recolección y determinando así si un visitante floral va efectivamente o no por el polen de este cultivo agrícola y si definitivamente es un probable polinizador o no.



Figura 4 | Medición de parámetros en frutos para análisis de eficacia polinizadora.
Foto: Víctor Monzón.



Caupolicana gayi. Foto: Víctor Monzón

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 | ENSAMBLE DE ARTRÓPODOS POLINIZADORES Y VINCULACIÓN CON EL SITIO PILOTO

Visitantes florales presentes en el cultivo

Al respecto de la caracterización del ensamble es importante señalar que solo fueron observados polinizadores nativos de la clase Insecta. Si bien es cierto, tanto en las observaciones, como en los censos aparecieron individuos de la clase Arácnida dentro de las flores, éstos no participaron de los procesos de polinización, sino que solo estaban en búsqueda de presas, por los que fueron descartados para este estudio. Por otra parte es importante señalar al inicio de este apartado, que se presenta información de artrópodos registrados en cada censo realizado diariamente y durante los días del estudio, los cuales no necesariamente van a coincidir con los que fueron colectados.

El total de registros de individuos observados durante el periodo de toma de datos correspondió a 18.342, pertenecientes a 36 taxones¹ (Cuadro 1). Todos los especímenes colectados tanto en el cultivo en estudio como en la flora acompañante, así como todos los regis-

tros fotográficos fueron ingresados a la base de datos siguiendo los estándares Darwin Core facilitados por la contraparte de la consultoría.

La Figura 5 representa gráficamente el porcentaje total de registros de individuos visitantes, expresados a nivel de orden. Como se puede observar, hubo 4 taxas predominantes, en donde Hymenoptera fue el de mayor número con 16.614 registros, con 16 especies de abejas (Superfamilia Apoidea, representada por las familias Apidae, Andrenidae, Colletidae y Halictidae), 1 especie de hormiga (Familia Formicidae) y 1 especie de avispa (Familia Tiphiidae).

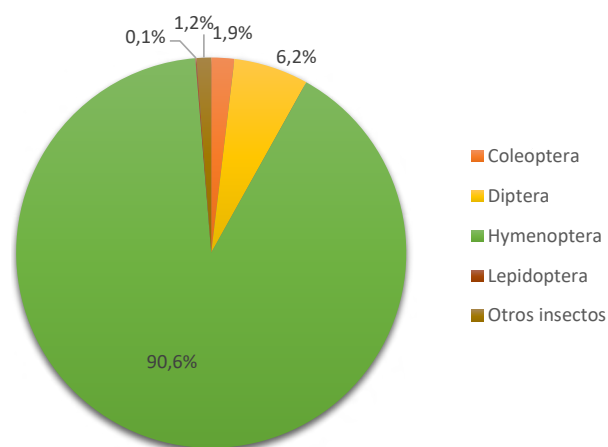


Figura 5 | Porcentaje de registro de individuos pertenecientes a los taxa predominantes en sitio piloto

¹ Algunos de los análisis de este informe consideran un número inferior de taxones, debido a que la identificación taxonómica de algunas especies culminó más avanzada la consultoría. Esto se debe a que esta labor es compleja y no exenta de dificultades, y en el caso de las abejas nativas, estas son muy poco conocidas e incluso algunas no cuentan con claves dicotómicas de identificación en el país.

| GÉNERO | ESPECIE | FAMILIA | ORDEN |
|---------------------------------|----------------------|---------------|-------------|
| <i>Acamptopoeum</i> | <i>submetallicum</i> | Andrenidae | Hymenoptera |
| <i>Apis</i> | <i>mellifera</i> | Apidae | Hymenoptera |
| <i>Bombus</i> | <i>terrestris</i> | Apidae | Hymenoptera |
| <i>Cadeguala</i> | <i>albopilosa</i> | Colletidae | Hymenoptera |
| <i>Caenohalictus</i> | <i>pygosinuatum</i> | Halictidae | Hymenoptera |
| <i>Camponotus</i> | <i>chilensis</i> | Formicidae | Hymenoptera |
| <i>Caupolicana</i> | <i>gayi</i> | Colletidae | Hymenoptera |
| <i>Chilicola (Anoediscelis)</i> | <i>herbsti</i> | Colletidae | Hymenoptera |
| <i>Colletes</i> | <i>musculus</i> | Colletidae | Hymenoptera |
| <i>Colletes</i> | <i>seminitidus</i> | Colletidae | Hymenoptera |
| <i>Corynura</i> | <i>cristata</i> | Halictidae | Hymenoptera |
| <i>Corynura</i> | <i>chloris</i> | Halictidae | Hymenoptera |
| <i>Corynura</i> | sp.1 | Halictidae | Hymenoptera |
| <i>Corynura</i> | sp.2 | Halictidae | Hymenoptera |
| <i>Corynura</i> | <i>herbsti</i> | Halictidae | Hymenoptera |
| <i>Lasioglossum (Dialictus)</i> | sp. | Halictidae | Hymenoptera |
| ND | | Thipiidae | Hymenoptera |
| ND | | | Hymenoptera |
| Total Hymenoptera | | | 18 |
| <i>Allograpta</i> | <i>hortensis</i> | Sirphidae | Diptera |
| <i>Allograpta</i> | <i>pulcra</i> | Sirphidae | Diptera |
| <i>Copestylum</i> | <i>scutellatum</i> | Sirphidae | Diptera |
| <i>Eristalis</i> | <i>tenax</i> | Sirphidae | Diptera |
| <i>Fazia</i> | <i>decemmaculata</i> | Sirphidae | Diptera |
| <i>Platycheirus</i> | <i>chalconota</i> | Sirphidae | Diptera |
| ND | | Bombilidae | Diptera |
| ND | | Tipulidae | Diptera |
| ND | | | Diptera |
| ND | | | Diptera |
| ND | | | Diptera |
| Total Diptera | | | 11 |
| <i>Astylus</i> | <i>trifasciatus</i> | Meliridae | Coleoptera |
| <i>Epiclines</i> | <i>gayi</i> | Cleridae | Coleoptera |
| <i>Eryphus</i> | <i>laetus</i> | Cerambycidae | Coleoptera |
| ND | | Curculionidae | Coleoptera |
| Total Coleoptera | | | 4 |
| <i>Hylephila</i> | <i>fasciolata</i> | Hesperiidae | Lepidoptera |
| <i>Vanessa</i> | <i>carye</i> | Nymphalidae | Lepidoptera |
| Total Lepidoptera | | | 2 |
| ND | | Cicadellidae | Homoptera |
| Total Homoptera | | | 1 |
| TOTAL DE ESPECIES | | | 36 |

Cuadro 1 | Registro de especies observadas, tanto en el cultivo de guindo ácido como en su flora acompañante.

Diptera con 1.145 registros de individuos es el segundo taxa más frecuente, con 11 especies, entre ellas 6 especies de moscas florícolas pertenecientes a la familia Sirphidae, 1 especie de la familia Tipulidae, 1 de la familia Bombyliidae y 3 especies de familias distintas aún sin determinar.

El tercer taxa más frecuente es Coleoptera con 348 registros de individuos asociados a 4 especies, de las cuales 1 pertenece a la familia Meliridae, 1 a la familia Curculionidae, 1 a la familia Cerambycidae y 1 a la familia Cleridae. Lepidoptera con 2 especies censadas fue el penúltimo taxa más frecuente con 20 registros de individuos, los cuales pertenecen a 1 especie de la familia Nymphalidae, y 1 a la familia Hesperidae. Hubo otros insectos pertenecientes a otros Taxa pero que por tener menor presencia durante todo el periodo se agruparon en una categoría común llamada "Otros", en donde están incluidos individuos pertenecientes al taxa Homoptera.

Diariamente, durante el periodo de estudio, se realizaron cuatro censos en diferentes momentos del día, 09:00; 12:00; 15:00 y 18:00 hrs. A las 09:00 hrs, el número total de visitas en todo el

periodo fue de 3.539 registros de insectos, a las 12:00 hrs los taxa se mantienen, sin embargo, aumenta el número de individuos totales a 7.268 registros. A las 15:00 hrs. el número de individuos totales fue de 5.542 registros y en el último censo, realizado a las 18:00 hrs, el número de visitas totales disminuyó en comparación a los anteriores censos registrándose solo 1.993 de individuos. Como se puede observar en la [Figura 6](#), el taxa más representado en todos los censos diarios es Hymenoptera, el cual está mayoritariamente en los censos realizados a las 12:00 y 15:00 hrs. Por otra parte, en el caso de Díptera, que es el taxa que sigue en cuanto al número de visitas totales, el número va aumentando a lo largo del día, siendo justamente en el último censo (18:00 hrs.) en donde se da la mayor cantidad de registros de individuos. Los otros taxa tienen un comportamiento similar a Hymenoptera, es decir tienen una mayor presencia en los horarios de las 12:00 y 15:00 hrs.

Dentro del taxa más representado, Hymenoptera, *A. mellifera*, fue la especie más numerosa, llegando a contabilizarse 15.873 registros de visitas equivalentes al 86,5% del total de visitas registradas durante todo el periodo. Por el contrario,

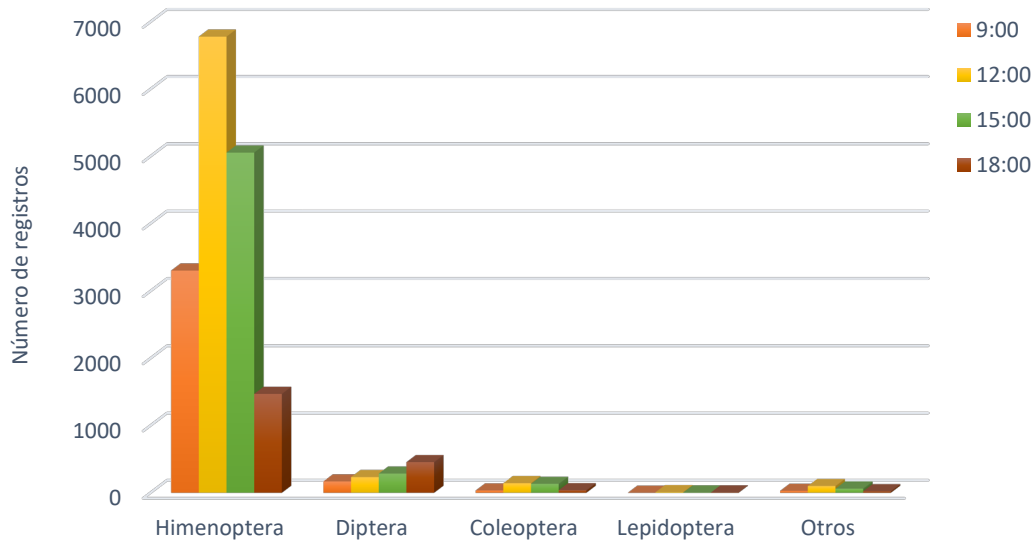


Figura 6 | Número de visitas registradas por taxa en los diferentes censos diarios realizados en sitio piloto.

Bombus terrestris, especie exótica, fue registrada durante el periodo en número de 25 individuos, un número bajo en comparación a otros estudios en cultivos agrícolas (Monzón, obs.per.).

Las especies de abejas nativas o silvestres, de comportamiento solitario, que visitaron guindo ácido fueron principalmente *Corynura cristata*, *Colletes seminitidus*, *Caupolicana gayi*, *Corynura chloris*, y varias especies agrupadas en “Otras abejas nativas” que en conjunto pertenecen a la Familia Halictidae con los géneros *Corynura*, *Caenohalictus* y

Lasioglossum y a la Familia Colletidae con el género *Chilicola*, y que fueron registradas con un total de 106 visitas (Figura 7).

A pesar que la abeja de miel (*A. mellifera*) fue el visitante floral del cultivo de guindo ácido con mayor presencia, el propietario de este cultivo en particular no contrató el servicio de polinización con colmenas de abejas de esta especie. Siendo así, lo más probable es que todos los ejemplares hayan provenido de poblaciones silvestres o de colmenares contratados para otros cultivos en parcelas vecinas.

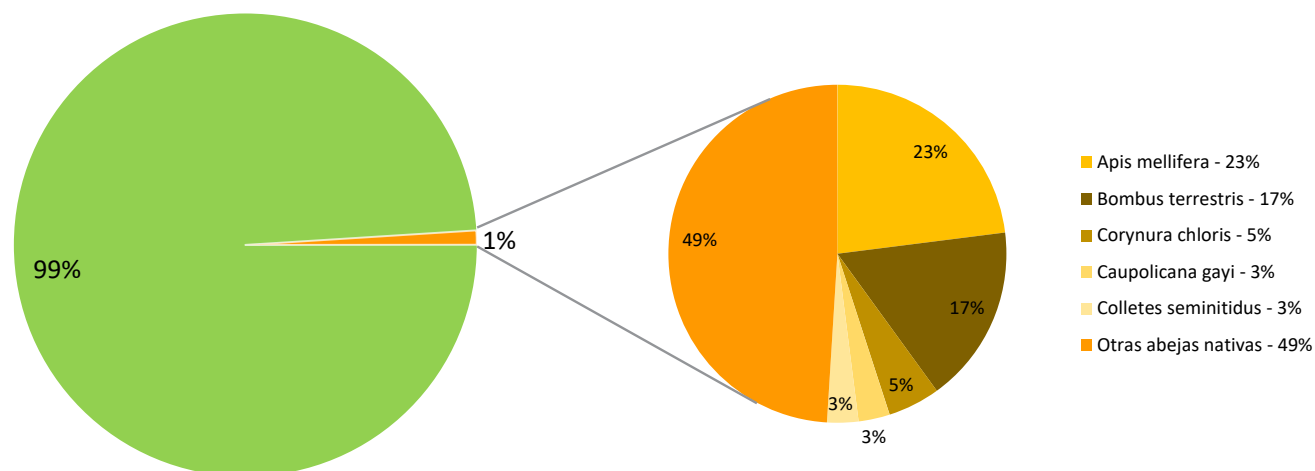


Figura 7 | Porcentaje de visitas de la Superfamilia Apoidea (abejas), en sitio piloto.

Por otra parte, se realizó a partir de las especies observadas en los censos diarios, colectas de individuos de las diferentes especies mediante redes entomológicas. En este punto es importante señalar que no se colectaron todas las especies que se registraron en los censos, ya sea porque no había tantos especímenes o porque no se pudieron atrapar debido a su rapidez. Debido a esto, la colección no coincide con todas las especies y taxas que visitaron la flor de guindo. En la Figura 8 se puede observar las especies con las que cuenta la colección y el origen que éstas tienen.

Como se puede observar, la mayoría de las especies colectadas son endémicas o nativas, lo cual nos indica la importancia del sitio piloto en cuanto a la biodiversidad propia del lugar. Las especies exóticas fueron muy menores, encontrándose solo dos especies. Por su parte, *A. mellifera* ampliamente distribuida en Chile y en el mundo, presentó la mayor frecuencia, como es habitual en estos tipos de estudio, en donde prácticamente no se puede aislar naturalmente su presencia. Es importante mencionar que en el grupo Diptera existe falta de información al respecto del origen de las especies.

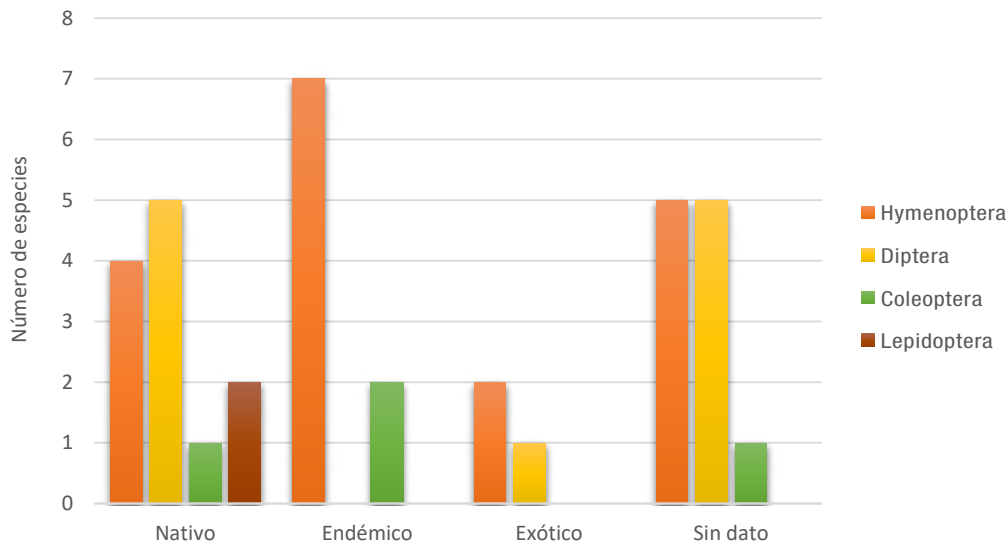


Figura 8 | Origen de las especies colectadas en sitio piloto.

Del mismo modo se fotografiaron individuos de las especies observadas en censos y de especies que no aparecieron en censos pero que esporádicamente visitaron el cultivo.

En relación a los artrópodos presentes en la vegetación acompañante, solo se hizo una colecta de especímenes y un registro fotográfico durante el periodo de estudio, no pudiendo realizar censos de frecuencia. A pesar de esto se pudo estimar la riqueza de especies en la vegetación acompañante (mayor detalle de esto se presenta en Cuadro 8).

A continuación se describe brevemente el ensamble de artrópodos más

frecuentes que fueron observadas en cultivo de guindo ácido durante el mes de septiembre en el sitio piloto.

***Apis mellifera*:** Pertenece a la familia *Apidae*, es conocida como abeja de miel o abeja mielera, es de comportamiento social con una estructura bien definida en donde coexisten en las colmenas abeja reina, abejas obreras y zánganos. Esta conducta social sugiere una ventaja evolutiva enorme en la supuesta competición con otras abejas (Michener, 2007) lo que las ha convertido en las mayores poblaciones de abejas gestionadas. Estos insectos son cosmopolitas o exóticos, encontrándose distribuidos en todo el mundo.

A. mellifera busca y obtiene recursos de una cantidad muy variada de especies florales, siendo difícil asociarla solo a algunas plantas, por lo que de acuerdo a esto es una reconocida abeja poliléctica o generalista. Al igual que otras abejas requiere de vitaminas, minerales y agua del néctar de las flores, el cual es recolectado de las fuentes cercanas a sus colmenas (Caballero, 2016). Del polen obtiene las proteínas necesarias para su desarrollo. La capacidad que tienen estas abejas para una selección floral efectiva son el olor, color y valor nutritivo del néctar y polen. En este estudio *A. mellifera* utilizó como alimento polen

y néctar de guindo ácido, sin embargo tuvo predilección por el néctar (ver Cuadro 8) (Figura 9).

***Bombus terrestris*:** Es una abeja social invasora, introducida en la zona central de Chile desde donde se ha desplazado hacia el sur y norte del país, incluso desplazando a las poblaciones de *Bombus dahlbomii*, nativo de Chile y Argentina. Tiene reinas y obreras. Suelen ser robadoras de néctar, perforando la corola de las flores para sacar el recurso. Colectan néctar y polen y en el lugar de estudio en Caleu no tuvieron alta presencia (Figura 10).



Figura 9 | *Apis mellifera* en flores de guindo ácido colectando néctar, nótese presencia de polen en corbícula tibial. Foto: Víctor Monzón.



Figura 10 | *Bombus terrestris* en flores de guindo ácido en sitio piloto, nótese en corbícula tibial la presencia de una masa de polen. Foto: Víctor Monzón.

***Caupolicana gayi*:** Abeja perteneciente a la familia *Colletidae*, vive en forma solitaria, su nombre dice relación con el Cacique Caupolicán y gayi en honor al famoso naturalista Claudio Gay. Es una abeja robusta de 14-18 mm. Las antenas, cabeza, cuerpo y patas de color negro. Pelaje blanco largo y erizado en el mesosoma y pilosidad del vientre negra. En el sitio de estudio, además de observarse en flores de guindo ácido alimentándose de polen y néctar, se encontró fuertemente asociada a flores de *Solanum ligustrinum* (tomatillo) y *Aristolelia chilensis* (maqui) (Figura 11).

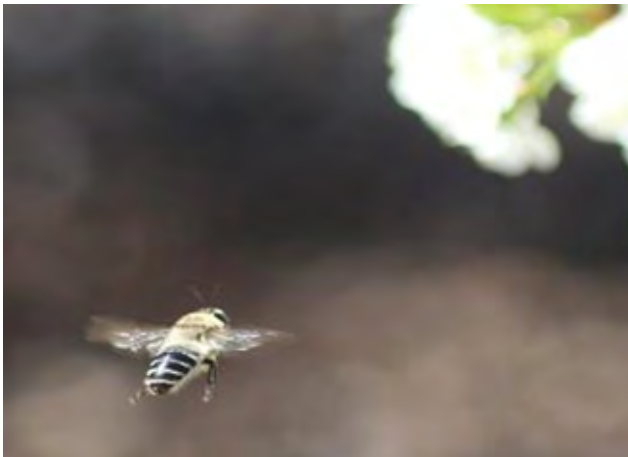


Figura 11 | *Caupolicana gayi* en flores de guindo ácido en sitio piloto. Foto: Víctor Monzón.

***Corynura chloris*:** Perteneciente a la Familia *Halictidae*. Son abejas solitarias-parasociales, que constituyen colonias pequeñas con adultos de una sola generación. El nombre común de *Corynura chloris* es abeja mosca o abeja verde, ya que es una abeja pequeña de color verde metálico con muy poca pilosidad. Su asociación ecológica es principalmente con *Baccharis sp.*, *Lithraea caustica* y *Peumus boldus*. Construye sus nidos en suelos planos y soleados. En el sitio piloto fue poco frecuente pero se alimentaba de polen y néctar. Esta especie no presenta problemas de conservación pues está ampliamente distribuida en Chile y Argentina, incluso en zonas urbanas (Monzón, 2015) (Figura 12).



Figura 12 | *Corynura chloris* en flores de guindo ácido en sitio piloto. Foto: Víctor Monzón.

***Colletes seminitidus*:** Son abejas solitarias pertenecientes a la Familia Colletidae, presentan tamaño medio en relación al resto de las nativas, tienen un tórax piloso de color gris blanquecino, el abdomen es de color verde azulado metálico y brillante. Se distribuyen desde la Región de Atacama hasta la Región de Los Lagos. Se asocian ecológicamente a árboles nativos. Su nidificación la realizan en suelos arcillosos. Se presentan en grandes cantidades en zonas costeras y precordilleranas. En el sitio piloto tuvo baja incidencia en guindo ácido, sin embargo en *Guindilla trinervis* (guindilla) fue muy frecuente, siendo responsable mayoritariamente de su polinización (Figura 13).



Figura 13 | *Colletes seminitidus* en flores de guindo ácido en sitio piloto. Foto: Víctor Monzón.

***Corynura cristata*:** Es una especie perteneciente a la familia Halictidae, es aún muy desconocida y en el lugar de estudio fue muy frecuente. Se encuentra desde la región de Coquimbo hasta la región de la Araucanía. Además en el sitio piloto del área del proyecto GEF Corredores Biológicos de Montaña. Es una especie endémica. Tienen tamaño pequeño, que va desde 0,7 a 0,9 cms. Sus antenas, cabeza y cuerpo son de color negro. Sin embargo en el tórax presenta agrupaciones de pelos amarillos, así como en la parte superior del abdomen, conformando verdaderas bandas de pelos amarillos. Emergen en temporada primavera-verano (Figura 14).



Figura 14 | *Corynura cristata* en flores de guindo ácido en sitio piloto. Foto: Víctor Monzón.



Figura 15 | Otras abejas nativas en flores de guindo ácido en sitio piloto. Foto: Víctor Monzón.

Otras abejas nativas: Generalmente las abejas nativas viven en forma solitaria, sin embargo suelen ser gregarias, por lo que nidifican muy cerca unas de las otras. Construyen sus nidos en madera, en tierra, en taludes de tierra verticales o en el suelo, y en ocasiones se logran apreciar los agujeros donde introducen huevos y el sustrato alimenticio (polen y néctar). En el cultivo de guindo ácido se encontraron además de las 4 ya descritas, 12 especies de abejas nativas, algunas de ellas determinadas hasta nivel de género, pues pertenecen a la familia Halictidae, un grupo que desde el punto de vista taxonómico aún permanece muy poco estudiado (Figura 15).



Figura 16 | *Astylus trifasciatus* en flores de guindo ácido en sitio piloto. Foto: Víctor Monzón.

Coleópteros: Las estructuras y características que dividen a los coleópteros de los demás órdenes de insectos son: una cutícula dura, aparato bucal masticador, alas anteriores sin vena y alas posteriores membranosas con pocas venas, meso y metatórax unidos al abdomen, en estado de larvas son vermiformes y poseen tres patas y pasan por un proceso de metamorfosis (Figura 16 y Figura 17). En el sitio piloto tuvieron poca presencia, sin embargo utilizan este cultivo como alimento

pues las especies de las familias colectadas se alimentan de polen.

Dípteros - Familia Sirphidae: Conocidas como moscas florícolas, juegan un rol importante en la polinización pues se alimentan de polen y néctar, favoreciendo el transporte debido a que el polen queda adherido a su cuerpo por los pelos presentes en estas especies. En las **Figura 18** y **Figura 19** algunos ejemplos.

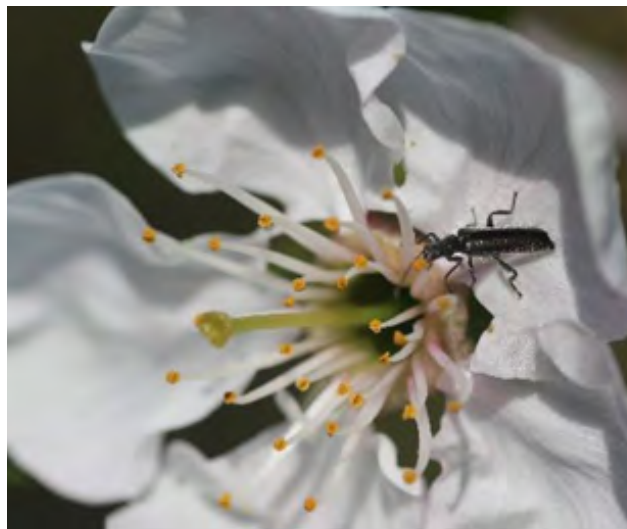


Figura 17 | Coleóptero Familia Cleridae en flores de guindo ácido en sitio piloto.
Foto: Víctor Monzón.



Figura 18 | *Copestylum scutellatum* en flores de guindo ácido en sitio piloto. Foto: Víctor Monzón.



Figura 19 | *Platycheirus chalconota* en flores de guindo ácido en sitio piloto.
Foto: Víctor Monzón.

Indicadores de diversidad, riqueza y abundancia

En la **Figura 20**, se puede apreciar el número acumulado de especies observadas, a lo largo de los muestreos realizados, durante los días de floración de guindo ácido en el sitio piloto. Se puede observar que la curva comienza a estabilizarse a partir del día 2, lo que indica que el muestreo hasta ese momento es suficiente y que la curva no variará mayormente, esto determinó que el número de días ocupados para los muestreos es suficiente y da cuenta de la realidad del sitio piloto en cuanto a la riqueza de especies.

Al respecto de los índices medidos para determinar la biodiversidad encontrada en el sitio piloto, en el caso del indicador de Margalef, los valores inferiores a 2 son zonas de baja diversidad (Margalef, 1995). En este caso nos muestra que la diversidad en la zona de este estudio fue baja con un índice de 1,63 (**Cuadro 2**).

Por su parte el índice de Berger-Parker que es un índice para medir la dominancia de especies y que varía entre 0 y 1, tuvo un valor de 0,8969 por lo que la diversidad de especies en el sitio piloto es baja, de acuerdo a este índice, con

dominancia de especies, por lo que en este sentido el efecto de *A. mellifera* juega un rol fundamental.

El índice de Shannon H tiene en cuenta la riqueza de especies y su abundancia, y relaciona el número de especies con la proporción de individuos pertenecientes a cada una de ellas. Para este estudio este índice tuvo un valor de 0,49 y teniendo presente que valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad, puede decirse que el ensamble de artrópodos en esta zona presentó una baja riqueza de especies con diferentes abundancias, lo que evidentemente así se ve. Es importante señalar que este índice subestima la diversidad específica si la muestra es pequeña y esto es lo que podría ocurrir en este caso.

Relación entre presencia de artrópodos, factores abióticos y porcentaje de floración

En el **Cuadro 3** se puede apreciar que la mayor cantidad de insectos presentes en el sitio piloto se registró a las 12:00 y las 15:00 hrs, horarios en los que las temperaturas eran iguales y superiores a 18°C, respectivamente.

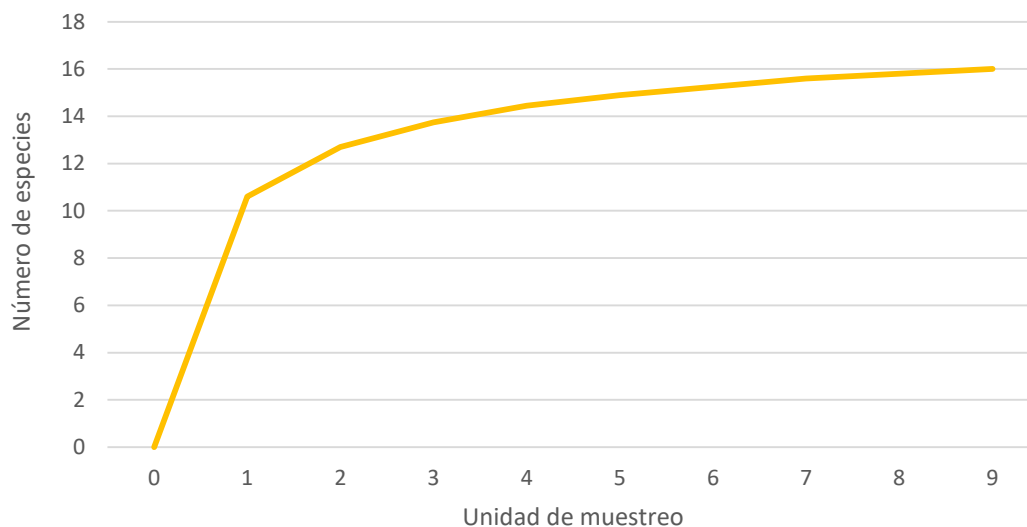


Figura 20 | Curva de acumulación de especies (N° de especies v/s días de muestreo).

| ÍNDICES | VALORES | INDICADOR |
|---------------|-----------------|--|
| Taxa_S | 16 ² | Número de especies |
| Individuos | 18.342 | Registros de individuos |
| Shannon_H | 0,4918 | Valores \leq a 2 se consideran bajos en diversidad y \geq a 3 son altos en diversidad de especies. |
| Margalef | 1,63 | Valores \leq a 2 baja diversidad y valores \geq a 5 alta diversidad |
| Berger-Parker | 0,8969 | Varía entre 0 y 1 Cuanto más se acerca a 1 significa que mayor es la dominancia y menor la diversidad |

Cuadro 2 | Valores de índices de diversidad para el cultivo de guindo ácido en sitio piloto.

² El número de taxa corresponde al identificado en el momento del muestreo para la curva de acumulación de especies, y exclusivamente para el cultivo de guindo ácido. Posteriormente se registraron más especies y se fueron identificando a lo largo de la consultoría debido a la complejidad que implicaba.

Por su parte, la humedad relativa se mantuvo estable en torno al 50%, su- biendo por sobre el 60% a las 18:00 hrs lo que determinó, junto al descenso de la temperatura, un menor número de indi- viduos. En este sentido las condiciones abióticas entre las 12:00 y 15:00 hrs son determinantes de la mayor presencia de visitantes florales.

Por otra parte, durante el pick de floración de guindo ácido, el porcentaje de flores abiertas determinadas por el

estudio de fenología floral fue superior al 50%, permaneciendo abiertas las flores entre 2 y 3 días según nuestro estudio de viabilidad floral. Con ello, queda disponible una mayor cantidad de recursos como polen y néctar, volviendo a la flor más atractiva y aumentando el número de visitas florales, lo que genera on ma- yores probabilidades de polinización efectiva (Cuadro 4 y Figura 21). Sumado a esto, si las condiciones abióticas son favorables, hay mayor probabilidad que aumente el número de visitas. De he-

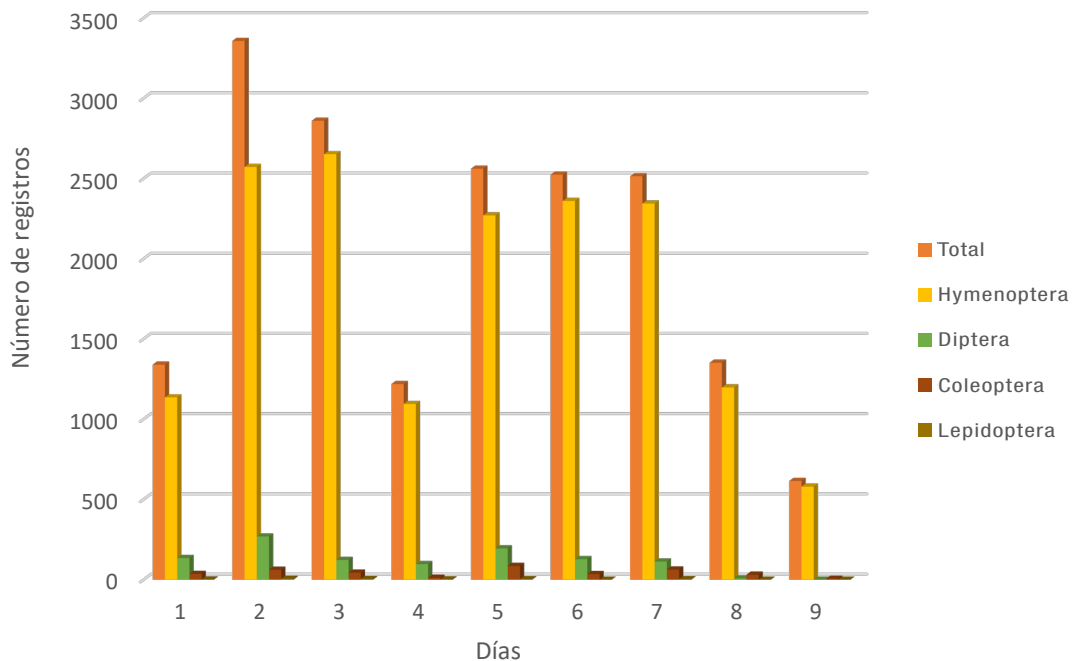


Figura 21 | Frecuencia de registro de visitas florales totales y por taxa en guindo ácido. En donde 1 a 9 son los días de pick de floración y los valores que van de 0 a 3.500, la frecuencia de individuos registrados.

cho, en este estudio justamente el mayor número de visitas se dio en días con temperaturas máximas por sobre los 20°C y mínimas por sobre 8°C (Cuadro 5).

Relacionando el gráfico de la Figura 21 y los parámetros ambientales registrados durante los censos diarios (Figura 22), se puede decir que los días 2 y 3 (22 y 23 de septiembre, respectivamente) fueron los con mayor visita, coincidiendo

con la temperatura más alta y con menor humedad. El día 4 (24 de septiembre), baja el número de visitas coincidiendo nuevamente con los parámetros ambientales, en donde la humedad relativa aumenta y la temperatura baja. Los días 5, 6 y 7 (25, 26 y 27 de septiembre, respectivamente) nuevamente aumentan las visitas debido al aumento de las temperaturas y disminución de la humedad.

| CENSOS | N° DE VISITAS TOTALES | TEMPERATURA (°C) | HUMEDAD RELATIVA (%) |
|--------|-----------------------|------------------|----------------------|
| 09:00 | 3.539 | 15,8 | 55,1 |
| 12:00 | 7.268 | 18,0 | 52,2 |
| 15:00 | 5.542 | 18,6 | 56,5 |
| 18:00 | 1.993 | 16,1 | 63,1 |

Cuadro 3 | Número de visitas totales por censo, temperatura (°C) y humedad relativa (%) promedio durante el periodo de floración de un cultivo de guindo ácido en sitio piloto.

| DÍA (21-29/09/2017) | INSECTOS TOTALES | HIMENÓPTEROS TOTALES | DÍPTEROS TOTALES | COLEÓPTEROS TOTALES | LEPIDÓPTEROS TOTALES | T°C MÁX | T°C MIN |
|------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 1.340 | 1.136 | 135 | 36 | 1 | 21 | 7 |
| 2 | 3.357 | 2.572 | 269 | 62 | 6 | 22 | 8 |
| 3 | 2.860 | 2.652 | 123 | 44 | 5 | 15 | 8 |
| 4 | 1.219 | 1.095 | 97 | 12 | 2 | 17 | 10 |
| 5 | 2.561 | 2.270 | 195 | 86 | 3 | 24 | 8 |
| 6 | 2.524 | 2.360 | 128 | 35 | 0 | 20 | 8 |
| 7 | 2.514 | 2.344 | 113 | 63 | 3 | 14 | 8 |
| 8 | 1.352 | 1.198 | 8 | 31 | 0 | 16 | 11 |
| 9 | 615 | 580 | 0 | 6 | 0 | 17 | 9 |

Cuadro 4 | Número de insectos totales, por taxa, y con temperaturas máximas y mínimas durante el periodo de floración de un cultivo de guindo ácido en sitio piloto.

| DÍA (21-29/09/2017) | HORARIO | | | | | | | |
|------------------------|------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| | TEMPERATURA (°C) | | | | HUMEDAD RELATIVA (%) | | | |
| | 09:00 | 12:00 | 15:00 | 18:00 | 09:00 | 12:00 | 15:00 | 18:00 |
| 1 | 12,9 | 23,2 | 23,3 | 16,3 | 12,9 | 23,2 | 23,3 | 16,3 |
| 2 | 14,0 | 19,2 | 20,4 | 18,3 | 14,0 | 19,2 | 20,4 | 18,3 |
| 3 | 17,9 | 18,2 | 17,1 | 13,8 | 17,9 | 18,2 | 17,1 | 13,8 |
| 4 | 17,5 | 15,0 | 15,0 | 14,0 | 17,5 | 15,0 | 15,0 | 14,0 |
| 5 | 12,9 | 16,5 | 20,7 | 17,9 | 73,8 | 66,6 | 56,9 | 58,1 |
| 6 | 19,8 | 17,3 | 18,2 | 17,5 | 42,2 | 49,2 | 58,4 | 48,3 |
| 7 | 16,4 | 17,2 | 16,7 | 13,0 | 53,5 | 59,0 | 69,7 | 81,6 |
| 8 | 14,9 | 17,1 | 17,8 | 18,1 | 68,8 | 66,5 | 44,5 | 59,7 |

Cuadro 5 | Detalle de temperatura (°C) y humedad relativa (%) durante el periodo de floración de un cultivo de guindo ácido en sitio piloto.

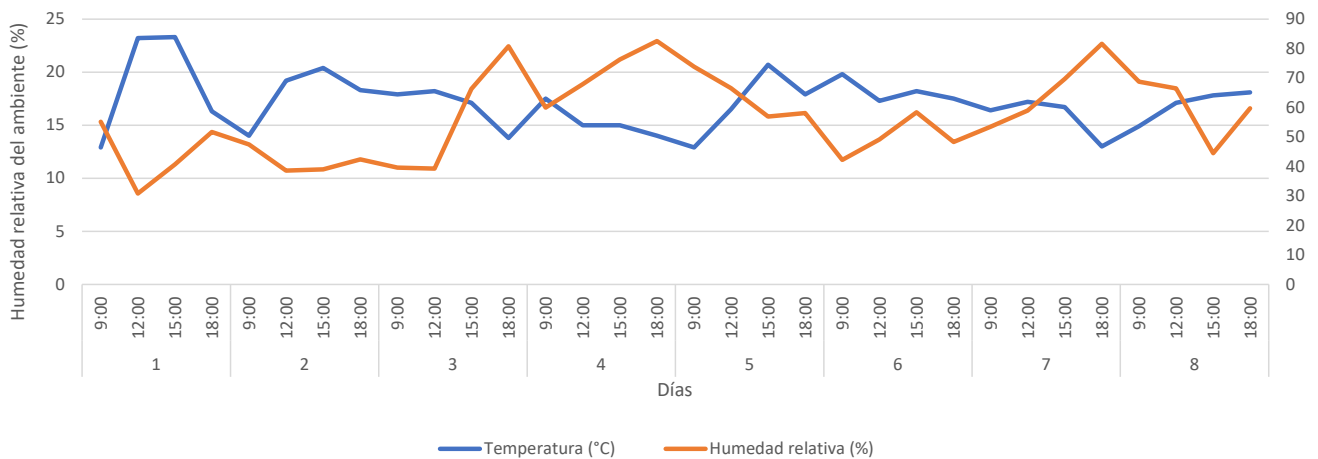


Figura 22 | Gráfico de parámetros ambientales diarios en horarios de censos en un cultivo de guindo ácido en sitio piloto. El 21 de septiembre corresponde al día 1 del pick de floración y así consecutivamente. El día 9 (29 sept.) no se tomaron datos por presencia de llovizna.

Recursos florales de guindo ácido

Los recursos florales que guindo ácido entrega a sus visitantes florales son el polen y el néctar. Al respecto en el Cuadro 6 se puede observar el resultado de la medición que se realizó al néctar producido por la flor de este cultivo para determinar el porcentaje de azúcar (grados Brix) y la cantidad o volumen producido (microlitros).

El resultado nos indica que en un volumen promedio de 1,8 ul de néctar extraído de 12 flores de guindo ácido, los grados Brix son 14,7 Bx. Esto significa que el néctar tiene un porcentaje de azúcar de 14,7% el que resulta bajo en comparación con otros estudios realizados en otros cultivos agrícolas diferentes a guindo ácido (Paiano et al, 2012). Es evidente que una mayor concentración de azúcar en el néctar hace más atractiva la flor y por ende las visitas florales aumentan, sin embargo en el cultivo en estudio este porcentaje es suficiente para generar la presencia de insectos polinizadores, lo que quedó evidenciado en los resultados de visitas (censos) y en la producción final de frutos.

Es significativo señalar que en di-

ferentes horas del día, la concentración de azúcar en el néctar varía, haciéndose mayor en las horas con temperaturas más altas, pues se genera evaporación y por ende hay una mayor concentración del néctar y menor volumen. Por el contrario, en momentos con mayor humedad, por ejemplo en las mañanas producto de la vaguada costera, el néctar estará más diluido. En el estudio la presencia de insectos recolectores de néctar (*B. terrestris* por ejemplo) se da mayormente en horas de la mañana, en donde el néctar está más abundante y más diluido favoreciendo su succión. Al medio día, si bien el néctar podría estar más concentrado podría ser más difícil de succionar para los visitantes florales, por eso la recolección principal es de polen, favoreciendo la polinización.

Por otra parte, el polen de guindo ácido fue colectado y analizado en laboratorio, y se procedió a fotografiarlo para el reconocimiento posterior en cargas polínicas de los insectos. La Figura 23 muestra una fotografía óptica del polen de guindo ácido, mostrando las características morfológicas propias de la familia Rosaceae y de la sub familia Prunoideae, es decir el polen es del tipo tricolporado con 3 poros y 3 colpi,

oblado y con exina de escultura estriada (Montenegro, 2012). De igual manera se fotografió e identificó otros tipos de pólenes presentes en cargas polínicas como maqui (Figura 24) y otros que están en análisis (Figura 25).

Al respecto de las cargas políni-

cas estudiadas en abejas, conocidos por ser insectos que presentan adaptaciones específicas para transportar el polen, se determinó que tanto la abeja nativa *C. cristata* como la abeja de miel *A. mellifera* transportan porcentajes similares de polen de guindo ácido (Figura 23), además de otros tipos de pólenes,

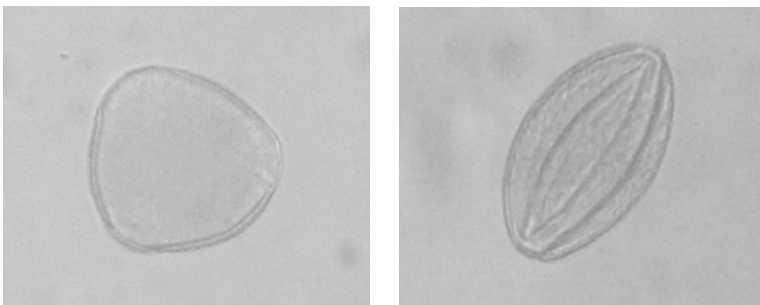


Figura 23 | Grano de polen de guindo ácido, fotografiado mediante microscopía óptica.

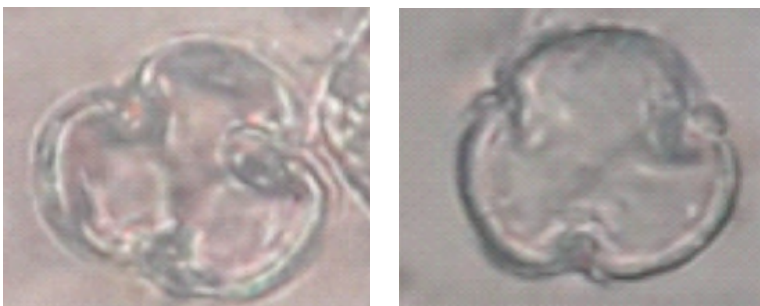


Figura 24 | Grano de polen de maqui, fotografiado mediante microscopía óptica.

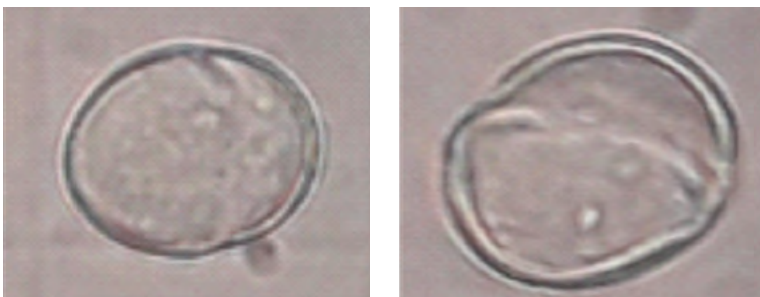


Figura 25 | Grano de polen pequeño (P2) (en análisis), fotografiado mediante microscopía óptica.

entre ellos polen de maqui (Figura 24) y de otros aún no determinados (Figura 25). Estos visitantes florales prefieren mayoritariamente coleccionar polen de guindo ácido, incluso cuando árboles como maqui están en plena floración (Figura 26).

Flora acompañante del cultivo

La influencia y potencialidad de áreas con vegetación nativa asociada a este cultivo, debe ser mirada como un reservorio de polinizadores silvestres, no solo por sus floraciones antes, durante o después de la floración del cultivo, lo que claramente está asociado al establecimiento de estas poblaciones de polinizadores en el lugar, sino también porque el paisaje contiene zonas como taludes, suelos arcillosos, troncos con cavidades preestablecidas y pequeños tallos, que les servirán como zonas de nidificación.

La flora acompañante del cultivo de guindo ácido se muestra en el Cuadro 7, en donde se pudieron reconocer representantes del bosque esclerófilo y de la estrata arbustiva, descritas para la zona, como las especies molle, mayo, maqui, maitén entre otros (ver caracterización del sitio piloto).

| FLOR | % GRADOS BRIX | VOLUMEN (µl) |
|-----------------|---------------|--------------|
| N°1 | 16,5 | 3,0 |
| N°2 | 12,5 | 1,0 |
| N°3 | 24,5 | 2,0 |
| N°4 | 13,0 | 2,0 |
| N°5 | 13,0 | 2,0 |
| N°6 | 18,0 | 2,0 |
| N°7 | 16,0 | 2,0 |
| N°8 | 16,0 | 2,0 |
| N°9 | 14,0 | 1,0 |
| N°10 | 15,0 | 0,6 |
| N°11 | 8,5 | 1,7 |
| N°12 | 9,0 | 2,6 |
| PROMEDIO | 14,7 | 1,8 |

Cuadro 6 | Volumen promedio y porcentaje promedio de Grados Brix obtenidos del néctar de un cultivo de guindo ácido en sitio piloto.

Al respecto es importante señalar que la vegetación acompañante del cultivo de guindo ácido en el área definida para el estudio, está constituida por 21 especies, de las cuales pueden coexistir especies de distinto origen como nativas, endémicas o exóticas (Figura 27).

De las especies vegetales colectadas, hay especies que presentaron floración temprana, es decir antes que el cultivo en estudio estuviera en floración. Estas plantas sirven por lo tanto de atracción para los artrópodos cuando estos comienzan a emerger y sobrevolar el sitio piloto. Durante el periodo de estudio, es decir cuando el cultivo de guindo

ácido estaba en el pick de floración, 12 especies tuvieron una floración coincidente con la del cultivo (Figura 27). Estas especies vegetales presentan artrópodos que en algunos casos están tanto en el cultivo como en la vegetación acompañante. Este hecho podría interpretarse como una competencia para el cultivo, sin embargo cuando se hizo el análisis del polen que transportan tanto las abejas nativas como las abejas de miel, el mayor porcentaje correspondió al de polen del cultivo (por sobre el 80%) (Figura 26), por lo tanto para estas especies la vegetación acompañante es solo un recurso alimenticio para cuando el cultivo no está en su pick de floración. En este

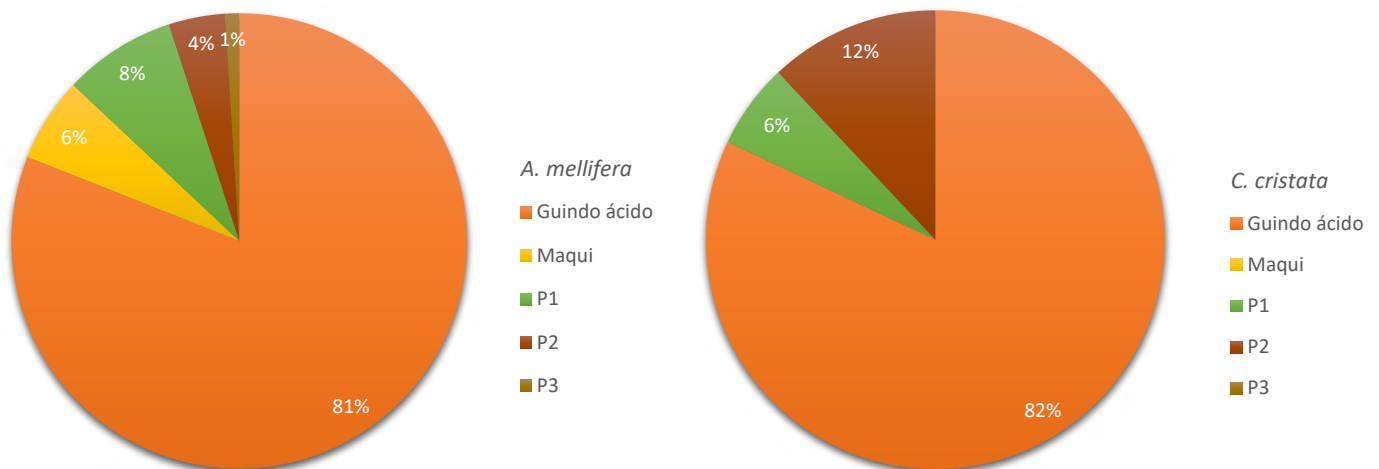


Figura 26 | Porcentaje de diferentes granos de polen presentes en cargas polínicas de *A. mellifera* y de *C. cristata*.

| FECHA | NOMBRE COMÚN | NOMBRE CIENTÍFICO | FLORACIÓN | ESTADO | ORIGEN |
|---|---------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|----------|
| 07 al 08 Sep. 2017 Floración temprana | Molle | <i>Schinus latifolius</i> | Septiembre-Octubre | Flores cerradas | Endémico |
| | Tomatillo | <i>Solanum ligustrinum</i> | Primavera | En flor | Nativo |
| | Mayo | <i>Sophora macrocarpa</i> | Agosto-Diciembre | En flor | Endémico |
| | Cuncuna amarilla | <i>Amsinckia calycina</i> | Primavera-Comienzos veranos | En flor | Nativo |
| | Yerba loca (morada) | <i>Astragalus</i> sp. | - | En flor | Sin dato |
| 20 al 29 Sep. 2017 Floración coincidente | Quilloi-quilloi | <i>Stellaria cuspidata</i> | Agosto-Octubre | En flor | Nativo |
| | Maqui | <i>Aristolelia chilensis</i> | Septiembre-Diciembre | En flor | Nativo |
| | Metrin | <i>Camissonia dentata</i> | Septiembre-Diciembre | En flor | Nativo |
| | Maitén | <i>Maytenus boaria</i> | Septiembre-Diciembre | En flor | Nativo |
| | Alfilerillo | <i>Erodium cicutarium</i> | Septiembre-Noviembre | En flor | Exótico |
| | Guindilla | <i>Guindilia trinervis</i> | Septiembre-Octubre | En flor | Nativo |
| | Membrillo | <i>Cydonia oblonga</i> | Septiembre-Octubre | En flor | Exótico |
| | Chupa-chupa | <i>Eccremocarpus scaber</i> | Octubre-Marzo | En flor | Nativo |
| | Yerba loca (blanca) | <i>Astragalus</i> sp. | - | En flor | Sin dato |
| | - | <i>Viola</i> sp. | - | En flor | Sin dato |
| | Quintral | <i>Tristerix</i> sp. | - | En flor | Sin dato |
| | Crucero | <i>Colletia spinosa</i> | Primavera | En flor | Nativo |
| 12 al 13 Oct. 2017 Floración tardía | Ajicillo | <i>Alonsoa meridionalis</i> | Septiembre-Enero | En flor | Nativo |
| | Clavel del campo | <i>Mutisia acerosa</i> | Primavera-Verano | En flor | Nativo |
| | Clavel del campo | <i>Mutisia latifolia</i> | Primavera-Verano | En flor | Endémico |
| | Capachito | <i>Calceolaria</i> sp. | - | En flor | Sin dato |

Cuadro 7 I Vegetación acompañante del cultivo de guindo ácido en sitio piloto.

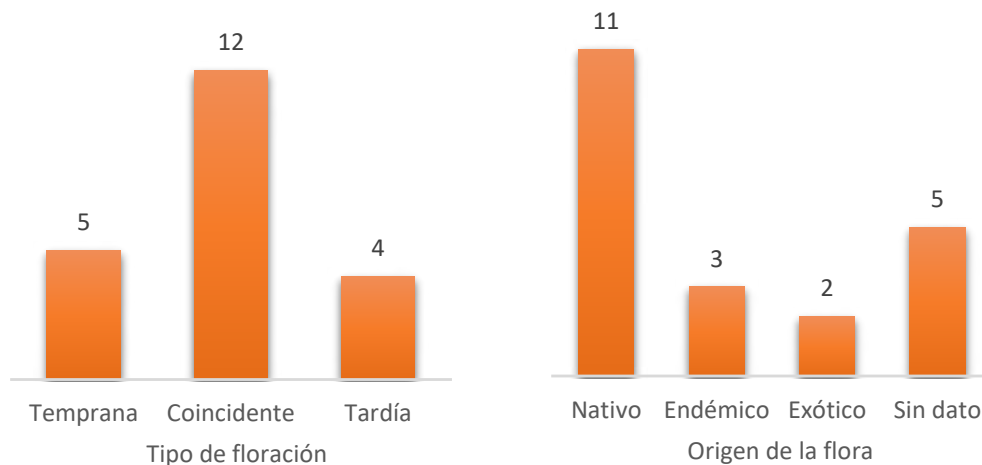


Figura 27 I Tipos de flora acompañante en relación a floración y al origen en cultivo de guindo ácido en sitio piloto.

sentido, un estudio posterior que analice por ejemplo el contenido polínico de las provisiones que preparan las abejas nativas para alimentar a sus crías o la constitución polínica de la miel de las abejas de miel, podría ayudar a responder estas hipótesis.

Por otra parte, durante el periodo del pick de floración del cultivo, hubo especies como las abejas nativas *Colletes seminitidus* y *Caupolicana gayi* que se vieron más frecuentemente en la flora acompañante (guindilla) que en el cultivo, por lo que probablemente en estos casos el recurso más importante para ellos es el polen o néctar de la flora acompañante. Del mismo modo, dos especies de abejas nativas, *Cadeguala occidentalis* y *Bombus dahlbomii* solo fueron vistas en flora acompañante pero en muy poco número, 1 y 3 avistamientos respectivamente.

Finalmente las especies que florecieron tardíamente con respecto a la floración de guindo ácido (Figura 27), son muy importantes para los agroecosistemas ya que los artrópodos se establecen en el lugar, toda vez que la floración del cultivo haya terminado. Por lo tanto, estas plantas sirven para alimentar a los artrópodos y que éstos puedan terminar

su periodo de reproducción, estableciendo sus poblaciones para el año siguiente en el mismo lugar, asegurando visitantes florales para una próxima temporada.

Visitantes florales de la flora acompañante

Como se señaló anteriormente, durante el periodo de estudio se pudo observar artrópodos no solo en el cultivo sino también en la flora acompañante. En la Figura 28 se puede observar el porcentaje de especies de artrópodos colectados tanto en el cultivo como en las especies vegetales de la flora acompañante. Estas especies de artrópodos son las que forman parte de la colección entomológica del proyecto.

Como se puede observar en la Figura 28, la mayor cantidad de especies efectivamente fueron colectadas en el cultivo de guindo ácido, independiente de que existan en floración otras especies vegetales propias de la flora acompañante.

Por otra parte, el molle (*Schinus latifolius*) resultó ser el árbol más atractivo para *A. mellifera*, y para abejas nativas presentes en el sitio piloto, después del propio guindo ácido.

La guindilla (*Guindilla trinervis*) presentó un menor número de especies asociadas, pero es relevante hacer notar que la abeja nativa *Colletes seminitidus*, fue el visitante floral con mayor presencia en este arbusto incluso más que el propio cultivo de guindo ácido, pudiendo ser el principal polinizador de ella (Cuadro 8).

El tomatillo por su parte, reconocido por una floración temprana y de gran amplitud durante la primavera tiene asociadas dos especies de abejas nativas, ambas también presentes en otras especies vegetales.

El maitén que se encontraba en plena floración durante el periodo de estudio presentó una gran cantidad de hormigas, las que se alimentaban principalmente de néctar, teniendo un papel discreto probablemente en la polinización de este árbol nativo.

Finalmente el membrillo, que se encontraba de manera silvestre en el sitio piloto, presentó solo una especie visitante correspondiente a una abeja nativa de la familia Halictidae.

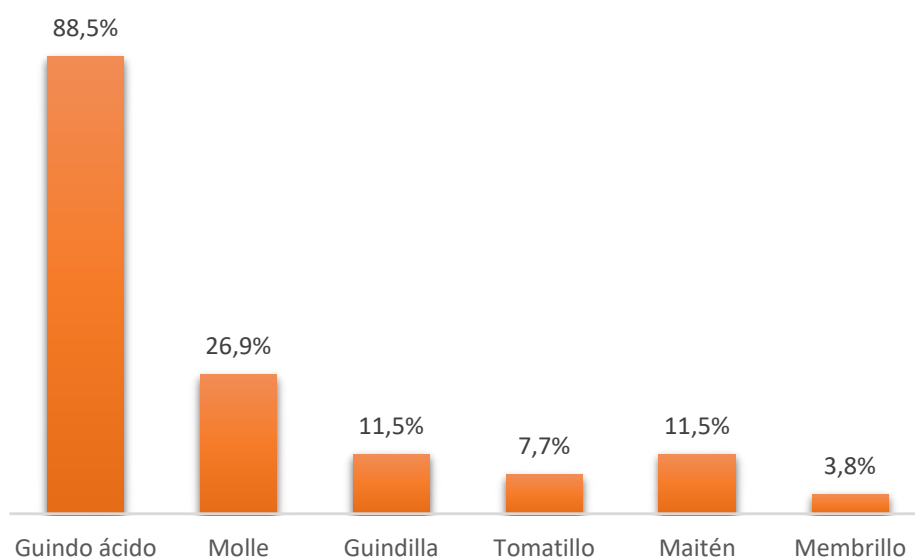


Figura 28 | Porcentaje de especies de artrópodos presentes en flora acompañante y en cultivo de guindo ácido en sitio piloto³.

³ Los porcentajes fueron calculados en base a los artrópodos señalados en el cuadro de este mismo título.

6.2 | CONTRIBUCIÓN A LA POLINIZACIÓN EFECTIVA EN EL SITIO PILOTO

Comportamiento recolector

La **Figura 29** indica en promedio, el comportamiento recolector de varios insectos observados más frecuentemente durante la floración de guindo ácido. Así, para el caso de *A. mellifera* (abeja de miel) que fue la especie más frecuente durante todo el periodo y en todos los horarios, se pudo hacer seguimiento de su comportamiento a 125 individuos, en donde el número de flores visitadas por minuto fue de 11,7. Por su parte, esta abeja permanece en promedio 6,3 segundos en cada flor, 27,9 en cada rama y 52 segundos en un árbol. De todas sus visitas a las flores de guindo ácido, en un 73,1% lo hacen para coleccionar néctar, polen en 12,4% y para coleccionar ambos en un 14,5% (**Figura 29 y Figura 30**).

Las abejas nativas, en su conjunto, fueron menos frecuentes que la abeja de miel, sin embargo su comportamiento recolector es relevante para la subsistencia de este agroecosistema. Estas especies de abejas suelen visitar menos flores por minuto en comparación a *A. mellifera*, sin embargo el tiempo que permanecen en cada flor es muy superior al

tiempo que destina la abeja de miel u otros artrópodos en las flores, lo que conlleva a que esté más tiempo en una rama y más tiempo en un árbol. Esta es una ventaja adaptativa de este grupo de abejas que favorece la polinización tanto de la flora acompañante como del cultivo, pues al estar más tiempo en la flor hay mayores probabilidades de que su visita sea realmente efectiva para la polinización con la consecuente formación de frutos y semillas (Monzón et al., 2004). Por otra parte, es importante señalar que muchas veces las abejas nativas por solo la presencia de *A. mellifera* u otro artrópodo dejan de forrajear en la flor que están, volando hacia otros sectores del árbol o de otros árboles en

Se observó que las abejas nativas, a raíz de la presencia de *A. mellifera* u otro artrópodo, muchas veces dejan de forrajear en la flor en la que están, volando hacia otros sectores del árbol o a otros árboles en donde la presencia de estos visitantes sea menor.

donde la presencia de estos visitantes sea menor.

Por lo mismo y favoreciendo aún más esta idea, de un total de 42 individuos de abejas nativas que visitaron las flores de guindo y se les realizó seguimiento, un 62,1 % lo hace para coleccionar polen, mientras que para néctar lo hace en un 8,4% y para coleccionar ambos recursos un 29,5% (Figura 30). Por lo tanto en comparación con *A. mellifera*, las abejas nativas al estar más tiempo en flor, favorecen la colecta de polen necesaria para la polinización.

Para el caso de los dípteros (N° individuos=40) de la Familia Sirphidae, en un porcentaje alto sus visitas son por polen o por ambos recursos, es decir polen y néctar, lo que hace que también sean muy buenos visitantes florales con la posibilidad de que sus visitas sean determinantes para la formación de frutos (Figura 30). *Copestylum scutellatum*, un representante de esta familia, tiene la misma probabilidad de ir por polen o por néctar cuando visita las flores de guindo ácido (Figura 30). Es importante hacer notar que estos individuos no presentan adaptaciones para coleccionar polen (corbícula tibial y escopa abdominal) o pe-

los ramificados, ni tampoco alimentan a sus crías con polen y néctar como las abejas, por lo que la búsqueda de recursos florales (polen y néctar) es para su propia alimentación y por tanto se podría presumir que no ejercerían un mayor transporte de polen. Esto explicaría por qué están menos tiempo en cada flor, en comparación con las abejas nativas. A pesar de todo esto, los Sirphidos de todos modos transportan polen adherido a sus cuerpos lo que tiene posibilidades concretas de facilitar la polinización y por ende la formación de semillas y frutos. Al respecto, estudiar con más detalle a los Sirphidos, los que permanecen tan desconocidos aún, ayudará a dilucidar estas hipótesis.

B. terrestris, que fue poco frecuente en el estudio (N° individuos=7), es el insecto que más flores visita por minuto, sin embargo también es el que menos tiempo está en cada flor, lo que está directamente relacionado con el hecho que todas las visitas observadas para este abejorro fueron para recolectar solo néctar (Figura 30). Probablemente esta especie utiliza a este cultivo para alimentarse y obtener para sí la suficiente energía para forrajear en otras plantas en que busca de polen, pues lo almacena

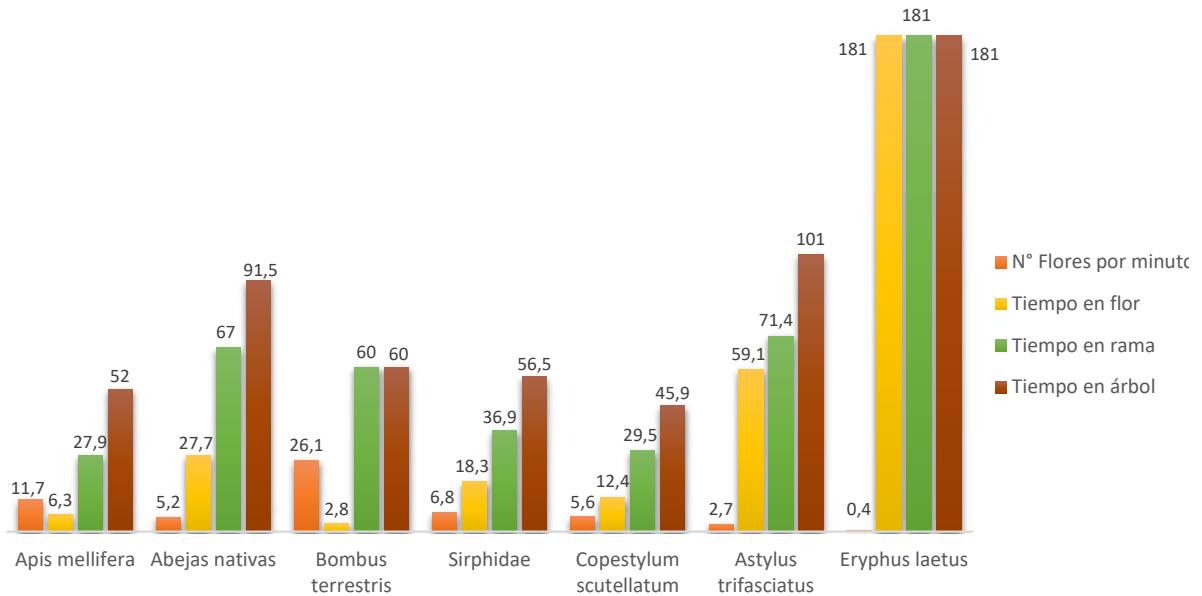


Figura 29 | Promedio del número de flores visitadas por minuto y tiempos de forrajeo (en segundos) de las especies más frecuentes en cultivo de guindo ácido en sitio piloto.

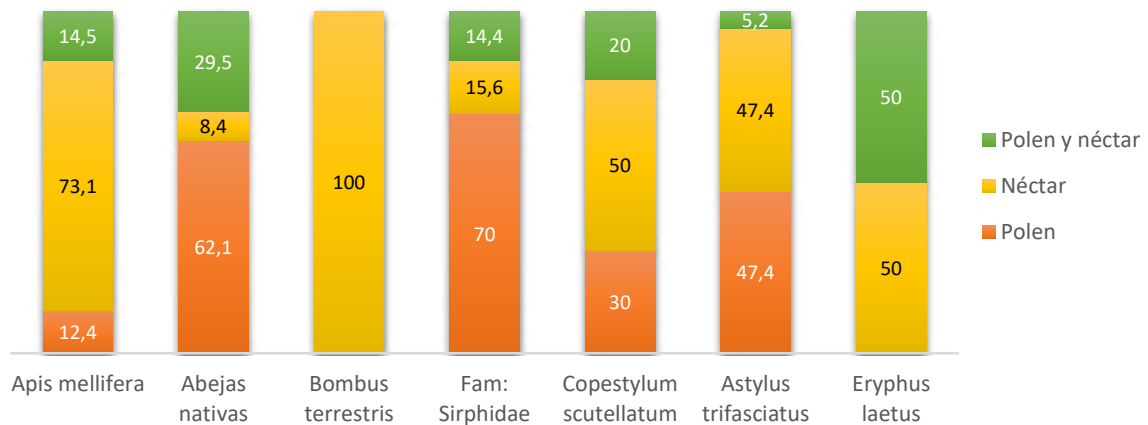


Figura 30 | Porcentaje de recursos colectados por las especies más frecuentes en cultivo de guindo ácido en sitio piloto.

| ESPECIES | GUINDO ÁCIDO | MOLLE | GUINDILLA | TOMATILLO | MAITÉN | MEMBRILLO |
|-----------------------------------|--------------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| <i>Acamptopoeum submetallicum</i> | Sí | | | | | |
| <i>Allograpta hortensis</i> | Sí | | | | | |
| <i>Allograpta pulcra</i> | Sí | | | | | |
| <i>Apis mellifera</i> | Sí | Sí | Sí | | | |
| Bombilidae | Sí | | | | | |
| <i>Bombus terrestris</i> | Sí | | | | | |
| <i>Caenohalictus pygosinuatum</i> | | | | | | Sí |
| <i>Caupolicana gayi</i> | Sí | | Sí | Sí | | |
| <i>Chilicola herbsti</i> | | Sí | | | | |
| <i>Colletes seminitidus</i> | Sí | Sí | Sí | Sí | | |
| <i>Corynura chloris</i> | Sí | Sí | | | | |
| <i>Corynura herbsti</i> | Sí | | | | Sí | |
| <i>Corynura cristata</i> | Sí | Sí | | | Sí | |
| Curculionidae | Sí | | | | | |
| <i>Epiclines gayi</i> | Sí | | | | | |
| <i>Eristalis tenax</i> | Sí | | | | | |
| <i>Eryphus laetus</i> | Sí | | | | | |
| <i>Fazia decemmaculata</i> | Sí | | | | | |
| Formicidae | Sí | | | | Sí | |
| Homoptera | | Sí | | | | |
| <i>Hylephila fasciolata</i> | Sí | | | | | |
| <i>Lasioglossum</i> sp. | Sí | | | | | |
| <i>Platycheirus chalconota</i> | Sí | | | | | |
| Thipidae | Sí | Sí | | | | |
| Tipulidae | Sí | | | | | |
| <i>Vanessa carye</i> | Sí | | | | | |
| TOTAL | 23 | 7 | 3 | 2 | 3 | 1 |

Cuadro 8 I Asociación artrópodo-planta presente en cultivo de guindo ácido en sitio piloto⁴.

⁴ El número de especies aquí señalado corresponde al de las identificadas hasta ese momento de la consultoría. Posteriormente se identificaron más taxones.

para alimentar a las crías de una colonia constituida por 20 a 25 individuos. Sin embargo, y debido al bajo número de individuos, se requiere hacer un análisis más completo con esta especie para verificar si realmente no transporta polen de guindo ácido, o si lo hace, conocer en qué porcentaje.

Los coleópteros por su parte, como *Astylus trifasciatus* (N° individuos=15) y *Eriphus laetus* (N° individuos=2) son los insectos que más tiempo permanecen en flor, rama y árbol, esto principalmente porque sus desplazamientos son lentos y normalmente caminan por sobre las flores, colectando vez por medio polen o néctar (Figura 29 y Figura 30).

Eficacia polinizadora y rendimiento productivo

A partir de las flores cerradas que fueron embolsadas durante el periodo de estudio, se realizó la actividad de eficacia polinizadora marcándose un total de 265 flores, las cuales fueron visitadas por *A. mellifera*, abejas nativas, dípteros de la Familia Sirphidae, *B. terrestris* y 91 de ellas fueron dejadas para evaluar exclusión de polinizadores, es decir no

se permitió la visita de artrópodos (autopolinización).

En el Cuadro 9 puede observar el total de visitas para cada especie de artrópodos y para exclusión. Las flores visitadas fueron posteriormente marcadas y registradas para hacer el seguimiento de fructificación. El mayor número de visitas para evaluar fue de *A. mellifera* por ser la especie más frecuente en el sitio piloto, en el caso de otros artrópodos fue más difícil poder evaluar esta actividad debido a su baja presencia.

Tres semanas después se realizó el conteo de frutos cuajados para medir el efecto de la pérdida natural de flores de los frutales. Así solo se obtuvo un total de 106 frutos cuajados, con una pérdida total del orden del 60% y un rendimiento de un 40%, presentándose un efecto mayor en las flores marcadas para visitas de abejas nativas y de *A. mellifera*, con pérdidas del orden del 90% y 70% respectivamente. En el caso de los Sirphidos fue de un 67% y de *B. terrestris* de 20%. Para las flores dejadas para exclusión de polinizadores la pérdida fue del orden de un 40%.

Una vez cuajados los frutos, éstos

| | FLORES MARCADAS | FRUTOS CUAJADOS | % FRUTOS CUAJADOS | FRUTOS FORMADOS | % FRUTOS FORMADOS |
|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| <i>A. mellifera</i> | 142 | 43 | 30,3 | 24 | 16,9 |
| Abejas nativas | 24 | 2 | 8,3 | 1 | 4,2 |
| Sirphidae | 3 | 1 | 33,3 | 1 | 33,3 |
| <i>B. terrestris</i> | 5 | 4 | 80,0 | 3 | 60,00 |
| Exclusión | 91 | 56 | 61,5 | 8 | 8,8 |
| TOTALES | 265 | 106 | 40,00 | 37 | 14,00 |

Cuadro 9 | Rendimiento productivo de guindo ácido polinizado por artrópodos y con exclusión de polinizadores.

vuelven a tener una caída natural. El efecto se midió un mes después y los frutos obtenidos (N=37) fueron colectados para análisis posterior en laboratorio. La pérdida total en relación con los frutos cuajados, fue del orden del 65%, es decir con un rendimiento del orden del 35%. Siendo la pérdida respecto del total de frutos cuajados, para *A. mellifera* de un 44%, para abejas nativas de un 50%, *B. terrestris* de un 25%, *Sirphidos* de un 0% (aunque solo quedó una sola flor marcada para esta familia de dípteros) y para la exclusión de polinizadores el efecto fue el más dramático, con un 86% de pérdida de frutos cuajados y con un rendimiento del 14%.

Los frutos formados fueron analizados en el Laboratorio de Ecología de Abejas de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Católica del Maule, determinándose para ellos el promedio del peso y de la longitud y el ancho para los frutos polinizados por *A. mellifera*, abejas nativas, *Sirphidos*, *B. terrestris* y para los formados excluyendo polinizadores.

Debido a la disminución de los frutos, a niveles mínimos en tres especies, el análisis estadístico no fue posible en este estudio. Así, en la **Figura 31**, se puede observar que el único fruto que quedó para el análisis, polinizado por

dípteros de la Familia Sirphidae, fue el que presentó las mayores dimensiones y el mayor peso. Por el contrario, los frutos dejados con exclusión de polinizadores (8 frutos) resultaron ser los que presentaron un promedio menor en cuanto a peso, ancho y longitud. Las abejas en conjunto (*A. mellifera* y abejas nativas) y *B. terrestris* presentaron dimensiones y peso similares. Sin embargo, los datos no son concluyentes debido al alto porcentaje de pérdida de frutos debido al cuaje natural, como se puede ver en el Cuadro 9.

Índice de probabilidad de polinización (PPI)

Para determinar este índice se tomó en consideración las especies de artrópodos más frecuentes en el cultivo y que resultaron ser la abeja de miel *A. mellifera* y la abeja nativa *Corynura cristata* (detalle de frecuencia en Figura 7). De acuerdo a esto, para la abeja de miel, el índice dio un valor de 0,22 y para la abeja nativa fue de 0,75.

Para *A. mellifera*:

$$\begin{aligned} PPI &= PCP \times PBP \\ &= 0,811 \times 0,269 \\ &= 0,22 \end{aligned}$$

Para *C. cristata*:

$$\begin{aligned} PPI &= PCP \times PBP \\ &= 0,824 \times 0,916 \\ &= 0,75 \end{aligned}$$

En donde PCP corresponde al porcentaje (proporción) de polen de guindo ácido que transportan (valores de Figura 26) y PBP que corresponde al porcentaje (proporción) de individuos de esta especie que transportan polen de guindo ácido (valores de Figura 30).

Según este análisis, el índice de probabilidad de polinización de la abeja nativa *C. cristata* resultó ser un valor más cercano a 1, lo que significa que esta especie tiene una mayor probabilidad de ser un polinizador efectivo de guindo ácido, en comparación con *A. mellifera*, que a pesar de haber sido la especie más frecuente, un porcentaje alto de ellas van al cultivo solo por néctar (73,1%), en tanto que por polen o polen-néctar van en menor medida (26,9%). En este sentido el que *C. cristata* sea probablemente su polinizador, está dado por el alto porcentaje de individuos de este grupo que colectan polen o polen-néctar (91,6%) de guindo ácido.

Cuantificación general de impactos positivos y valor económico de los beneficios

Existen entre 600.000 y 800.000 colmenas de *A. mellifera* distribuidas en nuestro país, en tanto que se estima que la demanda de polinización por hectárea

de los principales cultivos de frutas y semilleros es de 1.327.070 colmenas (FAO, 2016). Sin lugar a dudas, el servicio actual de *A. mellifera* no puede dar abasto con las necesidades que hoy día demanda el sector hortofrutícola, y en este sentido los artrópodos silvestres,

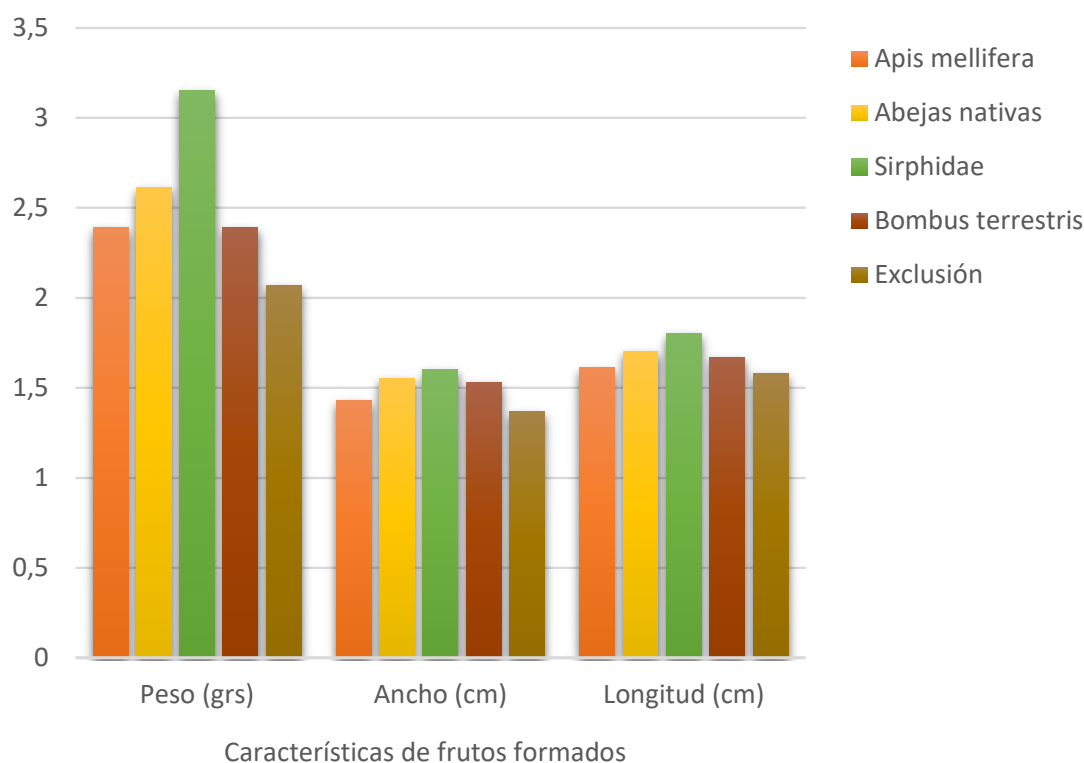


Figura 31 | Dimensiones promedio (cm) y peso promedio (gr) de frutos polinizados por artrópodos más frecuentes y con exclusión de polinizadores, en cultivo de guindo ácido.

y específicamente las abejas nativas, complementan la formación de frutos y semillas de casi todas las especies frutales que dependen de la polinización entomófila (Kremen et al. 2002; De Melo e Silva Neto et al. 2013).

Sumado a ello, estudios sobre el aporte de la polinización plantean una fuerte relación entre, la diversidad de especies vegetales y la entomofauna presente en el cultivo agrícola, y la calidad y cantidad de frutos y semillas producidos (Garibaldi et al. 2014; Saez et al, 2014; Classen et al 2014). En este sentido, el paisaje silvestre y la flora acompañante que colinda al cultivo agrícola, proveen de alimento y de zonas de nidificación

Existe una fuerte relación entre la diversidad de especies vegetales y su entomofauna, versus la calidad y cantidad de frutos y semillas producidos por un cultivo agrícola. En ese sentido, ambientes ricos en diversidad floral albergan una mayor cantidad de especies polinizadoras, logrando un efecto positivo en el cultivo agrícola.

fundamentales para el desarrollo y sobrevivencia de los polinizadores nativos. Se sostiene que los ambientes ricos en diversidad floral albergan una mayor cantidad de especies polinizadoras (Garibaldi et al. 2013), logrando un efecto positivo en el cultivo agrícola adyacente debido al aumento de la frecuencia de visitantes florales por la circulación de los polinizadores en estos supuestos corredores biológicos.

Las estimaciones del valor económico anual de la polinización varían ampliamente. Estudios recientes en el Reino Unido señalan que el valor de la polinización utilizando insectos silvestres asciende a 430 millones de libras (Smith et al., 2011, Hanley et al., 2015). Uno de los primeros estudios empíricos sobre el valor del servicio ecosistémico de polinización de cultivos, reveló que las abejas silvestres, que pertenecían a bosques cercanos a los cultivos, contribuyeron con US\$ 62,000 al año, o el 7% de los ingresos anuales de las granjas productoras de café en Costa Rica (Winfrey, 2010). Costanza et al.(1997), estimaron en US\$120 mil millones anuales todos los servicios de polinización. En nuestro país el servicio de polinización que dan las abejas a los cultivos agrícolas llega al

Si la polinización que realizan las abejas a los cultivos agrícolas tuviera que realizarse manualmente, este servicio ecosistémico ascendería en nuestro país a unos US\$110 millones al año.

orden de US\$110 millones al año (principalmente en mano de obra), si tuviéramos que realizar la polinización manual al no contar con polinizadores. De la misma manera Allsopp et al. (2008) en Sudáfrica, valoriza el servicio de polinización estimando el costo de su reemplazo, es decir la cantidad de ingresos perdidos, en caso de que estos componentes tuviesen que ser reemplazados por la polinización manual. Sus estudios concluyen que el servicio de polinización está gravemente sub-valorado en el mercado. Así, la valorización del servicio de polinizadores comerciales como *A. mellifera* está entre los US\$28.0-122.8 millones, pagándose en la realidad US\$1.8 millones, y en el caso de la valorización del servicio de polinizadores silvestres éste asciende entre US\$49.1-310.9 millones siendo de US\$0 el pago real.

Análisis de costo-beneficio del sitio piloto

El análisis costo-beneficio realizado en esta consultoría se basó en: 1) costos de mantenimiento de la vegetación de borde en huertos comerciales; y 2) valoración del servicio ecosistémico de polinización dado por artrópodos silvestres, específicamente abejas nativas.

En cuanto a los costos de mantenimiento de la vegetación acompañante en huertos comerciales, se considera algunos valores propuestos por Long y Anderson (2010). Se calcula el costo que se desprende al mantener un tipo de vegetación acompañante, conformada por las plantas herbáceas, arbustos y árboles (nativos y exóticos) más comunes presentes en la zona central de Chile, en sitios que normalmente no son utilizados para el cultivo. Así la remoción o desmalezamiento de plantas indeseadas en el borde y entre hileras del cultivo mediante uso de herbicidas y manejo mecánico, se calcula considerando: mano de obra (\$3.200 por 8,5 JH diarias), insumos (\$14.672 por 4 litros por día) y uso de pulverizadora de espalda (\$4.000 por 8,5 hora diaria) . Por lo tanto, el dejar de realizar trabajos de remoción y desmalezamiento de la vegetación acompañante

supondría un ahorro de \$75.872 pesos para el agricultor.

Respecto de la valoración económica del servicio de polinización, se considera el ahorro en el número de colmenas que deben ser arrendadas para el proceso, al tener a disposición abejas silvestres asociadas al paisaje silvestre y a la vegetación acompañante en donde encuentran recursos alimenticios y zonas de establecimiento (nidificación). De acuerdo a lo anterior, el valor de arriendo por colmena según Agtech (marzo 2017) es de \$15.000, siendo recomendado utilizar 10 colmenas por hectárea para una buena polinización del cultivo. Así, el gasto por colmenas por hectárea asciende a \$150.000 pesos. En el sitio piloto se generaría un ahorro total por las 10 hectáreas de aproximadamente \$1.500.000 al no contratar el servicio de abejas de miel y dejar a los artrópodos silvestres el papel de generar los frutos del sitio piloto.

En relación a esto último, debe recordarse que el propietario no arrienda colmenas de *A. mellifera*, por tanto los polinizadores silvestres ya le están ge-

nerando este ahorro. Ahora bien, considerando las especies presentes en su predio, y la frecuencia con que se observaron, *A. mellifera* resulta ser la más abundante. Esto no debiera sorprender considerando a Torretta et al. (2010) y Sáez et al. (2014), quienes indican que esta especie representa el visitante floral más abundante y contribuye con más del 94% a la polinización de un huerto, sobre todo si se contrata el servicio de polinización basado en esta especie. No obstante, según Morandin et al. (2016), las abejas nativas aportan un 21% suplementario al aporte realizado por las abejas de miel, en tanto que Nabors et al. (2018) señalan que al excluir *A. mellifera* de la polinización de una planta en California, solo se reduce en un 14% la producción de frutos y semillas, por lo que el ensamble de polinizadores silvestres resulta fundamental. Así entonces el cultivo generó una producción de 23.000 kgs el año 2017, en donde el 21% podría haber sido aportado por polinizadores nativos, es decir 4.800 kilos. Por lo tanto, el costo de la implementación justificaría las ganancias que tendría un predio si asume las recomendaciones esgrimidas.



**DISCUSIÓN EN
TORNO A
PRINCIPALES
CONCLUSIONES**

7

7 | DISCUSIÓN EN TORNO A PRINCIPALES CONCLUSIONES

La consultoría en el sitio piloto estableció que la mayor presencia de visitantes florales está dada por la clase Insecta, y dentro de ellos la Super-familia Apoidea. Este grupo presenta enormes ventajas adaptativas en relación a otros insectos, como poseer estructuras especializadas tales como escopa abdominal y corbícula tibial, que les permiten recolectar polen y néctar para alimentar a sus crías.

El paisaje con flora silvestre que acompaña al cultivo agrícola, dota de alimento y de zonas de nidificación a estas especies, siendo fundamental para su desarrollo y sobrevivencia. Garibaldi et al. (2013) sostienen que los ambientes ricos en diversidad floral, como el observado en la zona de Caleu, albergan una mayor cantidad de especies polinizadoras, logrando un efecto positivo en el cultivo agrícola adyacente debido al aumento de la frecuencia de visitantes florales por la circulación de los polinizadores en estos corredores biológicos. Además este tipo de parches de vegetación silvestre ayudan a disminuir el efecto de la fragmen-

tación de estos hábitats, contribuyendo además a la conservación y vigorosidad del suelo en donde nidifican las abejas nativas entre otras especies.

A. mellifera, especie exótica, jugó un rol fundamental en cuanto a la mayor presencia, pero también en cuanto a ser un polinizador efectivo de este cultivo, transportando un porcentaje alto de polen de guindo ácido (81%), a pesar que solo un 26,9% de sus individuos van por polen o por polen y néctar. Permanece menos tiempo en la flor (6,3 seg.) de guindo ácido respecto de los otros artrópodos del ensamble, a excepción de *B. terrestris*, pudiendo por ende visitar especies de flora nativa (maqui, molle, guindilla) para alimentarse a sí misma y a la colonia. Los frutos polinizados por

La vegetación acompañante del cultivo ofrece alimento y zonas de nidificación a los polinizadores. Mientras mayor sea la diversidad floral, mayor será la riqueza de especies polinizadoras, lo que genera un efecto positivo en el cultivo.

La presencia de la abeja melífera es fundamental para el cultivo, sin embargo, muchas veces el rol de polinizadores de otras especies queda enmascarado por la gran cantidad de individuos que conforman sus colmenas, o bien se ven afectados por su presencia al competir por el recurso (polen, néctar, hábitat).

esta especie, medidos mediante eficacia polinizadora, fueron los que mayor posibilidad tuvieron de llegar a término, pese a las caídas naturales de sus flores en primer lugar y luego al raleo natural del cuajado de la fruta. La presencia de esta especie en el ensamble por lo tanto es fundamental para el cultivo. Sin embargo, muchas veces el rol de otros visitantes florales queda enmascarado por la gran cantidad de individuos que conforman las colmenas de *A. mellifera* (Nabors et al, 2018), o bien se ven afectados por su presencia al competir por el recurso (Eickwort y Ginsberg, 1980; Allen-Wardell et al., 1998; Michener, 2007; Goulson y Sparrow, 2009; Goras et al, 2016).

Es importante señalar que a pesar del alto número de individuos de esta especie en el sitio piloto con 1.828 individuos promedio por día, según datos de la Red Agrícola Chile, un marco de colmena tiene aproximadamente 1.750 individuos y una colmena en buenas condiciones debe tener entre 8 y 10 marcos. Por ejemplo, para una hectárea de cerezos, deben utilizarse entre 8 y 10 colmenas por hectárea, lo que haría un total de 175.000 abejas/ha., densidades que en este cultivo están muy por debajo de lo que se estima para servicios de polinización con abejas gestionadas. Este análisis es una clara evidencia de la falta de polinizadores que existe en nuestro país y en el mundo, y debido a esto, es importante evaluar el valor que puedan tener otros artrópodos polinizadores. En este sentido, el paisaje silvestre y la vegetación acompañante presente en la zona de estudio, se tornan vitales pues proveen de recursos alimenticios y de zonas de establecimiento de poblaciones de polinizadores, favoreciendo su forrajeo y nidificación.

Las abejas nativas, por su parte, resultaron fundamentales en la polinización del cultivo, pues en conjunto, son las especies más frecuentes del *taxa*

Hymenoptera después de *A. mellifera*. Además, también presentan adaptaciones especiales para coleccionar polen, lo que ayuda a la adherencia de polen en sus cuerpos, favoreciendo el transporte y por ende asegurando la polinización cruzada tan necesaria para cultivos de frutales. De hecho, Morandin et al. (2016) señalan que las abejas nativas aportan un 21% suplementario por polinización en huertos agrícolas, mientras que por su parte Nabors et al. (2018) señalan que al excluir a la abeja de miel de sus estudios de polinización en una planta, solo se reduce en un 14% la producción de frutos y semillas de la misma, evidenciando el valor fundamental que tienen los ensambles de polinizadores silvestres.

En conjunto, todas las especies de polinizadores favorecen la persistencia de la mayor parte de los ecosistemas terrestres, y por lo tanto son fundamentales para el bienestar de la humanidad.

Corynura cristata resultó ser la más probable polinizadora de este cultivo, con un índice de probabilidad de polinización del 0,75 (siendo 1 el valor más alto de este índice). Efectivamente estas abejas permanecen mayor tiempo en la flor, por lo que visitan menos flores por minuto, y sus cargas polínicas contienen un 82% de polen del cultivo, demostrando con esto que el estar más tiempo en la flor determina que colecciona mayor cantidad de polen. Del mismo modo, la gran diversidad de especies en el sitio piloto, a pesar del bajo número de individuos (los artrópodos distintos de *A. mellifera* representaron aproximadamente un 13,5% de los individuos que visitaron las flores del huerto), resulta esencial para la mantención del ecosistema y de la flora acompañante del cultivo como molle, guindilla, maitén y tomatillo. La presencia de otros insectos, como coleópteros, lepidópteros y dípteros fue menor en especies y número de individuos, a excepción de los Sirphidos, que conocidos como moscas florícolas, visitan frecuentemente el cultivo, incluso durante todo el día, alimentándose de néctar y de polen. En conjunto, todas estas especies favorecen la persistencia de la mayor parte de los ecosistemas terrestres y por lo tanto son fundamentales para el bienestar de

la humanidad (Nates-Parra, 2017).

Al respecto de la diversidad, los índices medidos demuestran una baja diversidad del sitio piloto, lo que no se condice con otros estudios realizados por el equipo consultor en zonas cercanas (Ocoa) en cultivo de palto (datos aún no publicados). Al respecto, durante el periodo de estudio, podrían las condiciones ambientales ser determinantes de una baja riqueza de especies (con mayor cantidad de días con temperaturas mínimas más bajas y con mayor humedad que el año anterior). La vaguada costera, que a ratos inunda el sitio piloto, crea un micro ambiente muy húmedo que podría postergar el forrajeo y la visita de una gran cantidad de visitantes florales en ciertos momentos del día y del periodo de floración del cultivo, generando un desfase entre polinizador y cultivo. Sin embargo se requieren más estudios para corroborar esta aseveración.

Por otra parte, a pesar de que el sitio piloto se encuentra en una zona cercana al Santuario de la Naturaleza El Roble, los trabajos de remoción de tierra debido al asfaltamiento del camino que une la Cuesta La Dormida con el pueblo de Caleu, y que rodea al sitio de estudio

(ver **Figura 1**) podrían haber afectado de igual manera la presencia de artrópodos en el sector. Esto debido a la eliminación de flora y por ende de los recursos florales y de lugares de nidificación. Los efectos en la tierra producto de nuevos usos que se le da, en este caso como camino, afectan fuertemente la presencia de polinizadores (Weiner et al, 2014; Papanikolaou et al, 2017). Así un estudio que contemple varios años podría ser más concluyente en este punto.

Las especies colectadas del grupo de abejas nativas llaman la atención pues resultaron difíciles de determinar taxonómicamente a nivel de especie, existiendo poca información al respecto. En este sentido, el aporte que el sitio piloto y la zona que lo rodea dará para conocer de mejor manera estas especies será esencial a futuro. Algo similar ocurre con los representantes de la familia *Sirphidae* (Díptera) con pocos especialistas en Chile que trabajen en este grupo taxonómico.

Reafirmando lo anterior, cabe mencionar que en el sitio piloto se pudo constatar la presencia de varios individuos del moscardón nativo *Bombus dahlbomii*, pero que se observaron fuera de las observaciones y actividades de la

consultoría (y por ende no aparece como una especie registrada). La presencia de esta especie da una idea de lo interesante del lugar en cuanto a la conservación de la biodiversidad, incluso de aquellas especies que podrían estar en peligro de extinción como es el caso de esta especie, tan emblemática para nosotros.

La vegetación acompañante que florece antes de la floración del cultivo, tiene un papel fundamental en el sitio piloto, puesto que provee de alimento a los artrópodos para que una vez que

Los agrosistemas deben considerar entre sus requerimientos una flora acompañante capaz de proveer y sustentar polinizadores para los cultivos. La vegetación de floración temprana provee de alimento hasta que el cultivo florece, en tanto que la de floración tardía contribuye a que los polinizadores se establezcan en el lugar una vez que el cultivo haya culminado su floración.

el cultivo florezca puedan convertirse en visitantes florales de éste. Así especies vegetales como *Schinus latifolius* (molle), *Solanum ligustrinum* (tomatillo), *Sophora macrocarpa*, (mayo), *Amsinckia calycina* (cuncuna amarilla) o *Astragalus* sp. (yerba loca) fueron de las primeras especies en florecer. Los agrosistemas deben considerar entre sus requerimientos una flora acompañante capaz de proveer y sustentar polinizadores para los cultivos, y en este sentido existen estudios que relacionan directamente el declive de la flora nativa con el declive de los polinizadores (Papanikolaou et al, 2017; Lavhelesani et al, 2018). Del mismo modo, la flora acompañante de floración tardía en relación al cultivo, hará que los polinizadores se establezcan en el lugar una vez que el cultivo deje de florecer, sobre todo si los suelos están sanos, libres de herbicidas y pesticidas, pues los artrópodos y especialmente las abejas suelen ser muy sensibles a éstos (Winfrey, 2010). En este sentido, el suelo donde están los cultivos debe conservarse sin remoción, ya que podrá servir de zona de nidificación para los artrópodos que construyen sus nidos en este tipo de sustrato, como es el caso de algunas abejas nativas. Del mismo modo se debe bajar la carga de agroquímicos para evitar la disminución

de polinizadores, pues es una de las mayores causas asociada a su declive.

En cuanto a la evaluación del impacto económico de los polinizadores en el sitio piloto se debe tener en cuenta que esta temporada la producción llegó a más de 23.000 kgs de guindas ácidas. Considerando que los dueños del predio no contratan servicios de polinización con abejas de miel, y que la exclusión de polinizadores genera baja fructificación, los polinizadores silvestres (incluyendo a *A. mellifera* silvestre) fueron los principales responsables de la polinización, con la consecuente fructificación del cultivo. Al respecto, y tal como se ha señaló

anteriormente, existe evidencia sobre el rol que los polinizadores silvestres tienen en los cultivos agrícolas favoreciendo la formación de frutos y semillas (Garibaldi et al, 2011; 2013; Hanley et al, 2015).

En el presente estudio, el rendimiento del cultivo considera los frutos obtenidos de la actividad de eficacia polinizadora, en donde se marcaron flores para polinización por insectos y con exclusión de polinizadores, los que fueron del orden del 35% y del 14% (ver Cuadro 9), respectivamente en relación a los frutos cuajados. Un factor extra que se debe considerar en esto es la caída natural de fruta, presente en muchos árboles frutales, lo que es absolutamente normal en los procesos de formación de frutos. Primero caen flores no polinizadas, posteriormente las no fecundadas o fecundadas inadecuadamente y luego frutos en distintos grados de desarrollo. Como se puede ver, el efecto de los polinizadores fue mayor para la producción de frutos. Como en guindo ácido no hay estudios al respecto, esta información será relevante para estudios posteriores.

Las alteraciones en la tierra (remoción de suelo, asfaltamiento, contaminación por agroquímicos), afectan fuertemente a los polinizadores. Algunos de ellos nidifican directamente en el suelo, por lo que es vital conservar los suelos, y mantenerlos sanos, libres de herbicidas y pesticidas.



Centris cineraria - Foto: Víctor Monzón

8

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

- AFIPA. (2017). Manual Fitosanitario de Afipa. On line: <http://www.manualfitosanitarioafipa.cl/manualafipa/searchProductos.php>.
- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*, 103(9), 1579–1588.
- Allen-Wardell, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchmann, S., Cane, J., Nabhan, G. P. (1998). The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*, 12(1), 8-17.
- Allsopp MH, de Lange WJ, Veldtman R (2008). Valuing Insect Pollination Services with Cost of Replacement. *PLoS ONE* 3(9): e3128.
- Bonilla, M.A. (2012). La polinización como servicio ecosistémico. En: Iniciativa colombiana de polinizadores (ICPA), Capítulo I: abejas. Universidad Nacional de Colombia, Instituto Humboldt. Bogotá, Colombia. pp. 1-103.
- Caballero, T. (2016). Tema 5: Biología de la abeja. Disponible en: <http://www.ual.es/personal/tcabello/Temarios/ApiTema05Web.pdf> “Consultado”: 17 de Enero de 2017.
- Cabello, G; Elórtegui, S; Luebert, F; Anríquez, H.; Meynard, F; Moreira, A; Muñoz, M; Pliscoff, P; Soler-vicens, C; Beltrán, Stingo; Torres-Mura, J; Venegas, F; Vivallo, F. (1997). Parque Nacional la Campana, Origen de una reserva de la Biosfera de Chile central. Taller La Era. 176 p.
- Classen A, Peters MK, Ferger SW, Helbig-Bonitz M, Schmack JM, Maassen G, Schleuning M, Kalko EKV, Böhning-Gaese K, Steffan-Dewenter I. (2014). Complementary ecosystem services provided by pest predators and pollinators increase quantity and quality of coffee yields. *Proc. R. Soc. B* 281: 1- 7
- Costanza R, d’Arge R, de Groot R, Farberk S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O’Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Suttonk P, van den Belt M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260
- Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson SJ, Kubiszewski I, Farber S, Turner RK. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26: 152–158
- De Melo e Silva Neto C, Gomes Lima F, Bastos Gonçalves B, Lima Bergamini L, Araújo Ribeiro Bergamini B, da Silva Elias MA, Villaron Franceschinelli E. (2013). Native bees pollinate tomato flowers and increase fruit production. *Journal of Pollination Ecology* 11(6): 41-45
- Devine, G. Eza, D. Ogasuku, E. Furlong, M. (2008). Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Rev. Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. V. 25 N°1. Lima.

- Eickwort, G. C. & Ginsberg H. S. (1980). Foraging and mating behavior in apoidea. *Annual Reviews Entomology*. 25:421-46.
- FAO (2012). Código Internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. On line www.fao.org/3/a-a/0220s.pdf.
- FAO (2016). Línea Base del Servicio Ecosistémico de la Polinización en Chile: documento de síntesis. ©FAO, 2016. I6663ES/1/12.16
- García, Marta, Ríos Osorio, Leonardo Alberto, & Álvarez del Castillo, Javier. (2016). La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. *Idesia (Arica)*, 34(3), 53-68. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016000300008>
- Garibaldi LA, Carvalheiro LG, Leonhardt SD, Aizen MA, Blaauw BR, Isaacs R, Kuhlmann M, Kleijn D, Klein AM, Kremen C, Morandin L, Scheper J, Winfree R. (2014). From research to action: Enhancing crop yield through wild pollinators. *Front. Ecol. Environ.* 12: 439–447
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J. M., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Dudenhöffer, J. H., Greenleaf, S. S., Holzschuh, A., Isaacs, R., Krewenka, K., Mandelik, Y., Mayfield, M. M., Morandin, L. A., Potts, S. G., Ricketts, T. H., Szentgyörgyi, H., Viana, B. F., Westphal, C., Winfree, R. and 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., Aizen, M.A., Bommarco, R. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 339 (6127), 1608-1611.
- Goras, G., Tananaki, C., Dimou, M., Tscheulin, T., Petanidou, T., Thrasyvoulou, A. (2016). Impact of honey bee (*Apis mellifera*) density on wild bee foraging behavior. *Journal. Apicultural. Science*. Vol. 60 No. 1.
- Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology letters*, 4(4), 379-391.
- Goulson D & Sparrow KR (2009) Evidence for competition between honeybees and bumblebees; effects on bumblebee worker size, *Journal of Insect Conservation*, 13 (2), pp. 177-181.
- Hanley, N., Breeze, T. D., Ellis, C. & Goulson, D. (2015). Measuring the economic value of pollination services: principles, evidence and knowledge gaps. *Ecosyst. Serv.* 14, 124–132.
- Kremen C, Miles A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecol Soc* 17: 40.

- Kremen C, Williams NM, Thorp RW. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. PNAS 99(26): 16812–16816.
- Kremen, C. (2018). The value of pollinator species diversity. SCIENCE Vol. 359, Issue 6377, pp. 741-742.
- Kuhlmann M, Kleijn D, Klein AM, Kremen C, Morandin L, Scheper J, Winfree R. (2014). From research to action: Enhancing crop yield through wild pollinators. Front. Ecol. Environ. 12: 439–447
- Lavhelesani Simba, Stefan Foord, Elisa Thébault, F Frank van Veen, Grant Joseph, et al. (2018). Indirect interactions between crops and natural vegetation through flower visitors: the importance of temporal as well as spatial spillover. Agriculture, Ecosystems and Environment, Elsevier Masson. <10.1016/j.agee.2017.11.002>. <hal-01679645>
- Long RF, Anderson J. (2010). Establishing hedgerows on farms in California. Agriculture and Natural Resources Publication 8390 (<http://ucanr.org/freepubs/docs/8390.pdf>)
- Maêda, J. (1985). Manual para uso da câmara de Neubauer para contagem de pólen em espécies florestais. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 8p.
- Mallinger, R. E., Gratton, C. and Diekötter, T. (2015), Species richness of wild bees, but not the use of managed honeybees, increases fruit set of a pollinator dependent crop. J Appl Ecol, 52: 323-330.
- Margalef, R. (1995). Teoría de los ecosistemas ecológicos. ISBN: 978-84-475-0213-4. 290pp.
- Mayer, C.; Adler, L.; Armbruster, W.S.; Dafni, A.; Eardley, C.; Huang, S.Q.; Kevan, P.G.; Ollerton, J.; Packer, L.; Ssymank, A.; Stout, J.C.; Potts, S.G. (2011). Pollination ecology in the 21st century: key questions for future research. Journal of Pollination Ecology, 3 (2): 8-23.
- Mercado G & M Henríquez. (1987). Informe Preliminar de la Climatología del Parque Nacional La Campana. Universidad de Chile.
- Michener, Ch. (2007). The Bees of the World. 2° Edition. The Johns Hopkins University Press. 972 p.
- Montenegro G. (2012). Polen Apícola chileno: diferenciación y usos según sus propiedades y origen floral. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Monzón, V. (2015). Guía de abejas nativas de la Región del Maule. UC del Maule. Edición propia. 34 p.
- Monzón, Víctor H., Bosch, Jordi & Javier Retana. (2004). Foraging behavior and pollinating effectiveness of *Osmia cornuta* (Hymenoptera: Megachilidae) and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) on “Comice” pear. Apidologie 35. 575–585.
- Morales, C., Montalva, J., Arbetman, M., Aizen, M.A., Smith-Ramírez, C., Vieli, L. & Hatfield, R. (2016) *Bombus dahlbomii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T21215142A100240441.<http://>

dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T21215142A100240441.en. Downloaded on 03 March 2018.

- Morandin L, Long R, Kremen C. (2016). Pest Control and Pollination Cost–Benefit Analysis of Hedgerow Restoration in a Simplified Agricultural Landscape. *Journal of Economic Entomology* 1–8 doi: 10.1093/jeetow086
- Moreira-Muñoz, A. (1999) *Guía de Campo Caleu y el Cerro El Roble*. CONAMA, FONDART, 120 pp.
- Nabors, A., Cen, H., Hung, K., Kohn, J., Holway, D. (2018). The effect of removing numerically dominant, non-native honey bees on seed set of a native plant. *Oecologia* 186(1):281-289.
- Nates-Parra Guiomar (ed.). (2017) *Iniciativa Colombiana de polinizadores-Abejas- ICPA*. Bogotá, D.C. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. 362pp.
- Ne'eman G.; Dafni A.; Potts S. G. (1999). *A Journal of Apicultural Research* 38(1–2): 19–23 new pollination probability index (PPI) for pollen load analysis as a measure for pollination effectiveness of bees.
- ODEPA. (2015). *Informe final estudio estratégico de la cadena apícola de Chile*. www.odepa.gob.cl.
- Ollerton, J., Winfree, R. and Tarrant, S. (2011), How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120: 321–326.
- Paiaro Valeria, Gabriel E. Oliva, Andrea A. Cocucci y Alicia N. Sérsic. (2012). Caracterización y variación espacio-temporal del néctar en *Anarthrophyllum desideratum* (Fabaceae): Influencia del clima y los polinizadores. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 47 (3-4): 375-387.
- Papanikolaou, A. D., I. Kühn, M. Frenzel, M. Kuhlmann, P. Poschlod, S. G. Potts, S. P. M. Roberts, and O. Schweiger. (2017). Wild bee and floral diversity co-vary in response to the direct and indirect impacts of land use. *Ecosphere* 8(11):e02008. 10.1002/ecs2.2008.
- Patrick Hoehn, Teja Tschardt, Jason M. Tylianakis and Ingolf Steffan-Dewenter. (2008) Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proc. R. Soc. B* 275, 2283–2291.
- Pinilla-Gallego, M. S.; Nates-Parra, G. (2015). Visitantes florales y polinizadores en poblaciones silvestres de agraz (*Vaccinium meridionale*) del bosque andino colombiano. *Revista Colombiana de Entomología* 41 (1): 112-119.
- Rech, R., Agostini, K., Oliveira, P., Machado, I. (2014). *Biología da polinizacao*. Revisora editorial Certes Belchior.- Rio de Janeiro: Projeto cultural. 527p.
- Ricou, C., Schneller, C., Amiaud, B., Plantureux, S. & Bockstaller, C. (2014) A vegetation based indicator to assess the pollination value of field margin flora. *Ecological Indicators*, 45, 320–331.

- Roubik, D.W. (1978). Competitive interactions between neotropical pollinators and Africanized honeybees. *Science*, 201: 1030-1032.
- Rugiero de Souza, Vanessa. (2006). Suelos potencialmente aptos para revegetación uso agrícola a partir de la utilización de biosólidos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la provincia de Chacabuco, Región Metropolitana.
- Sáez A, Sabatino M, Aizen M. (2014). La diversidad floral del borde afecta la riqueza y abundancia de visitantes florales nativos en cultivos de girasol. *Ecología Austral* 24: 94-102.
- Shannon, C.E. and W. WEAVER. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press, Urbana, IL.
- Shavit, O., Dafni, A., Ne'emanc, G. (2009). Competition between honeybees (*Apis mellifera*) and native solitary bees in the Mediterranean region of Israel—Implications for conservation. *Israel Journal of Plant Sciences*. Vol. 57. pp. 171–183.
- Smith, Pete; Black, Helaina; Evans, Chris; Halls, Rosemary; Thomson, Amanda; Hesketh, Helen; Johnson, Andrew; May, Linda; Pickup, Roger; Purse, Beth; Ashmore, Mike, & others. (2011). Regulating services [chapter 14]. In: UK National Ecosystem Assessment. *Understanding nature's value to society*. Technical Report. Cambridge, UNEP-WCMC, 535-596.
- Sugiura, S., Tsuru, T., & Yamaura, Y. (2012). Effects of an invasive alien tree on the diversity and temporal dynamics of an insect assemblage on an oceanic island. *Biological Invasions*, 15, 157-169.
- Torretta JP, Medan D, Alsina AR, Montaldo MH. (2010). Visitants florales diurnos del girasol (*Helianthus annuus*, Asterales: Asteraceae) en la Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 69: 17-32
- Vilhena, A.M.; Rabelo, L.; Bastos, E.M.; Augusto, S.C. (2012). Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. *Apidologie*, 43: 51-62.
- Weiner CN, Werner M, Linsenmair KE, Blüthgen N. (2014). Land-use impacts on plant-pollinator networks: interaction strength and specialization predict pollinator declines. *Ecology*. Feb; 95(2):466-74.
- Whitehorn PR, O'Connor S, Wackers FL, Goulson D. (2012). Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science*. Apr 20;336(6079):351-2.
- Winfree Rachael, James R. Reilly, Ignasi Bartomeus, Daniel P. Cariveau, Neal M. Williams, Jason Gibbs. (2018). Species turnover promotes the importance of bee diversity for crop pollination at regional scales. *Science* Vol. 359, Issue 6377, pp. 791-793.
- Winfree, R. (2010). The conservation and restoration of wild bees. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195: 169–197.
- Wratt, E. C. (1968). The Pollinating Activities of Bumble Bees and Honeybees in Relation to Temperature, Competing Forage Plants, and Competition from Other Foragers. *Journal of Apicultural Research*. Volume 7.



9

APÉNDICE

9 | APÉNDICE. RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE ARTRÓPODOS POLINIZADORES NATIVOS EN CULTIVOS AGRÍCOLAS

RECOMENDACIÓN N°1: MANTENER LA VEGETACIÓN ACOMPAÑANTE, DE BORDE Y DE ENTRE HILERAS

Una de las mejores prácticas para el establecimiento de polinizadores silvestres, es la mantención de la vegetación acompañante o flora de borde. Este tipo de vegetación sirve como alimento (polen y néctar) para los artrópodos polinizadores, sobre todo si en este tipo de flora existen especies que florezcan antes que el propio cultivo agrícola. Así los polinizadores estarán presentes en el predio cuando se genere el pick de floración del cultivo, traspasándose al cultivo al tener mayor cantidad de recursos disponibles.

La flora acompañante en el sitio piloto presentó especies coincidentes en la floración con el cultivo, sin embargo al analizar las cargas polínicas de ellos (abeja de miel y abejas nativas), el porcentaje de polen del cultivo agrícola fue superior al 80%, demostrando que a

pesar de que existen especies vegetales diferentes al cultivo en floración, este tipo de artrópodos prefiere la del cultivo. Del mismo modo, si en la flora acompañante existen especies vegetales de floración tardía, es decir que florecen posteriores al pick de floración del cultivo, se favorecerá el establecimiento de estas especies en el sitio, pues tendrán alimento disponible para continuar con la etapa de nidificación y generación de la descendencia de estas especies.

Por otra parte, en cuanto a los costos por remoción o desmalezamiento de plantas indeseadas en el borde y entre hileras del cultivo mediante uso de herbicidas y manejo mecánico, podría calcularse considerando: mano de obra (\$3.200 por 8,5 JH diarias), insumos (\$14.672 por 4 litros por día) y uso pulverizadora de espalda (\$4.000 por 8,5 hora diaria)⁷. Por lo tanto, el no realizar trabajos de remoción y desmalezamiento de la vegetación acompañante supondría un ahorro de \$ 75.872 pesos para el

⁷ Todos los datos fueron obtenidos de información consultada a agricultores y trabajadores agrícolas de la zona y ODEPA (2015).

agricultor. Por lo tanto es recomendable mantener la flora acompañantes de cultivos, no solo por el beneficio de establecer poblaciones de artrópodos, sino porque además supone el ahorro de dinero, haciendo aún más rentable el cultivo cuando no se contrata el servicio de remoción.

Entre las plantas que se recomienda mantener o plantar son árboles y arbustos atractivos para artrópodos nativos, como molle, maitén, maqui, tomatillo, guindilla, entre otros, pues en el estudio se observó la presencia de artrópodos en estas especies de la flora acompañante. Es importante destacar la presencia de polen de maqui en las cargas polínicas analizadas de abejas, lo que demuestra que esta especie es atractiva para los insectos. También pueden utilizarse otras especies nativas, especialmente si su floración es temprana o tardía respecto del cultivo de interés.

RECOMENDACIÓN N°2: MANTENER SUELOS SANOS Y SIN REMOCIÓN

Los suelos y tierra donde están los cultivos deben conservarse con la mejor salud posible, ya que estos suelos po-

drían servir de zonas de nidificación para los artrópodos que construyen sus nidos en este tipo de sustrato, como por ejemplo las abejas. En este sentido, la utilización de herbicidas no solo afecta la flora acompañante sino también a los suelos por acumulación de residuos en ellos, al igual que los pesticidas.

El sitio piloto presentó suelos del tipo arcilloso y limoso, típicos para la zona. Este tipo de suelo sirvió de sustrato para la construcción de nidos de abejas de la Familia Colletidae, como *Colletes seminitidus*, una abeja ampliamente distribuida en la zona central de Chile de vuelo temprano (Figura 32). Estas abejas nidifican durante el periodo primavera-verano, dejando su descendencia bajo tierra, desarrollándose durante el otoño e invierno para emerger en el mismo periodo al año siguiente, visitando la misma flora y el cultivo. Debido a esto es importante no remover la tierra que rodea al cultivo pues es probable que se encuentren especies nidificando las que podrían ser probablemente polinizadores silvestres del propio cultivo. Los nidos podrían reconocerse como pequeños agujeros, de 1 cm de diámetro, de los cuales estarían entrando y saliendo permanentemente abejas grises en este caso.



Figura 32 | Nidos de *Colletes seminitidus*, abeja nativa residente en el sitio de estudio.

RECOMENDACIÓN N°3: MODERAR EL USO DE COLMENAS DE *A. MELLIFERA* (ABEJA DE MIEL) PARA POLINIZACIÓN.

En Chile al igual que otros países, para suplir la demanda del servicio de polinización, se usa tradicionalmente *A. mellifera*. En nuestro país hay entre 600.000 a 800.000 colmenas y la demanda de polinización por hectárea de los principales cultivos de frutas y semilleros es de 1.327.070 colmenas (FAO, 2016). En este sentido, el servicio de polinización actual de *A. mellifera* no puede dar abasto con las necesidades que hoy

día demanda el sector hortofrutícola, por lo que los artrópodos silvestres, y específicamente las abejas nativas, complementan la formación de frutos y semillas de casi todas las especies frutales que dependen de la polinización entomófila (Kremen et al.2002; de Melo e Silva Neto et al. 2013).

Ambientes ricos en diversidad floral albergan una mayor cantidad de especies polinizadoras (Garibaldi et al. 2013), logrando un efecto positivo en el cultivo agrícola adyacente debido al aumento de la frecuencia de visitantes florales

por la circulación de los polinizadores en estos supuestos corredores biológicos. Además, estudios sobre el aporte de la polinización plantean una fuerte relación entre, la diversidad de especies vegetales y la entomofauna presente en el cultivo agrícola, y la calidad y cantidad de frutos y semillas producidos (Garibaldi et al. 2014; Saez et al, 2014; Classen et al 2014).

Ahora bien, la introducción de colmenas de *A. mellifera* en una superficie cultivada, supone la presencia de decenas de miles de obreras que compiten con la fauna polinizadora nativa, afectando negativamente a esta última (Wratt, 1968; Roubik, 1978; Eickwort y Ginsberg, 1980). Además, muchas veces el rol de otros visitantes florales queda enmascarado por la gran cantidad de individuos que conforman las colmenas de *A. mellifera* (Nabors et al, 2018).

RECOMENDACIÓN N°4: NO INTRODUCIR FLORA Y FAUNA INVASORE

La introducción de especies vegetales invasoras trae consecuencias indeseadas en los agroecosistemas. Frecuentemente la vegetación nativa

cuando es reemplazada por especies invasoras tiene un efecto en la diversidad de insectos beneficiosos para la vegetación propia del lugar (Sugiura et al., 2012). Así la disminución de la riqueza de visitantes florales podría afectar de igual manera el cultivo agrícola, toda vez que éstos se movilizan desde la flora nativa a los cultivos y viceversa.

Por otra parte, la introducción de apidofauna invasora, como es el caso de *Bombus terrestris*, introducido a nuestro país en 1997 para polinizar tomates de invernadero, ha generado consecuentes riesgos para la biodiversidad nativa. Un ejemplo de ello ha sido la disminución de las poblaciones de *Bombus dahlbomii*, abejorro nativo de Chile y Argentina que vio disminuidas sus poblaciones debido a patógenos transmitidos por *B. terrestris* (considerada hoy una especie invasora) (Morales, et al 2016) y que hoy lo tienen en peligro de extinción⁸. En el sitio piloto la presencia de *B. terrestris* fue menor, lo que favoreció el rol polinizador de la apidofauna nativa en el cultivo, pues cuando *B. terrestris* está presente en los ecosistemas afecta a otras especies compitiendo o robándole el recurso (Morales, et al 2016).

⁸ Reglamento de Clasificación de Especies del Ministerio del Medio Ambiente (Proceso 12°, DS 16/2016 MMA).

RECOMENDACIÓN N°5: EVITAR EL USO DE PESTICIDAS Y AGROQUÍMICOS

Es conocido el efecto que los pesticidas han tenido en la disminución de los polinizadores a escala mundial, sobre todo los derivados de neonicotenoides, generando tanto en los visitantes florales silvestres como en los manejados, reducción de las conductas de forrajeo, disminución de la habilidad de sobrevuelo, reducción de la fecundidad y aumento de la susceptibilidad a enfermedades (Whitehorn et al., 2012; Hanley et al., 2015) existiendo también evidencia de efectos debido al uso de herbicidas y fungicidas (Hanley et al., 2015).

Es importante señalar que en Chile la superficie agrícola certificada como orgánica alcanzó las 19.932 hectáreas en el

2015, en donde 6.190 ha correspondieron al conjunto de uva vinífera y frutales mayores (ODEPA, 2015). El aumento de la superficie cultivada orgánicamente de algunas especies, según informe ODEPA (2015), se explicó por: el aumento de la demanda; el sobreprecio que están dispuestos a pagar los consumidores por ciertos productos orgánicos; las posibilidades edafoclimáticas que permiten realizar una producción orgánica; la entrada al sistema como una organización de agricultores ecológicos, accediendo a la autocertificación; la apertura de nuevos negocios de venta de productos orgánicos y el desarrollo permanente de ferias locales (ODEPA, 2015).

Al respecto la recomendación es utilizar una baja carga de estos productos y que ojalá sean de origen orgánico.



Corredores Biológicos
de **Montaña**
Proyecto GEF