



Importancia de insectos silvestres en la polinización del palto cultivado bajo manejo orgánico y convencional en Chile central

The importance of wild insects in the pollination of avocado crop grown under organic and conventional management practices in central Chile

García, C.B.^a, Chávez-Cárdenas, D.S.^a, Olmos-Moya, N.^a,
Neaman, A.^{b,c*}, Celis-Diez, J.L.^{a,d*}

^a Escuela de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.

^b Centro Transdisciplinario de Estudios Ambientales y Desarrollo Humano Sostenible (CEAM), Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

^c Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

^d Centro de Acción Climática, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16.08.2020

Accepted 03.03.2021

Keywords:

Persea americana

Ecosystem services

Wild insects

Pollination

Biodiversity

Original Research Article,
Sustainable Agriculture

*Corresponding author:

Juan Luis Celis,

Alexander Neaman

E-mail address:

juan.celis@pucv.cl,

alexander.neaman@uach.cl

ABSTRACT

Several recent studies have highlighted the importance of wild insects in crop pollination. In this study, we performed an exploratory evaluation of the importance of wild insects in the pollination of avocado crop grown under organic and conventional management practices in Quillota, central Chile. The diversity of floral visitors was estimated for each tree. The rate of floral visits by honeybees and wild insects correlated with the number of fruit sets. Regardless of the management practice, on average 34% of the visitors were wild insects. A greater diversity of floral visitors was registered in the organic farm. Finally, fruit set positively correlated with the rate of wild insect visits, especially under conventional management. Our preliminary results highlight the importance of wild insects in the pollination of the avocado crop.

RESUMEN

Estudios recientes resaltan la importancia de insectos silvestres en la polinización de cultivos. En este estudio, se realizó una evaluación exploratoria de la importancia de los insectos silvestres en la polinización del cultivo de palto bajo prácticas de manejo orgánico y convencional en Quillota, Chile central. Se estimó la diversidad de visitantes florales para cada árbol. La tasa de visitas florales de abejas e insectos silvestres se correlacionó con el número de cuajas. Independientemente de la práctica de manejo, en promedio el 34% de los visitantes fueron insectos silvestres. Se registró una mayor diversidad de visitantes florales en el predio orgánico. Finalmente, la cuaja de frutos se correlacionó positivamente con la tasa de visitas de insectos silvestres, especialmente bajo manejo convencional. Estos resultados preliminares destacan la importancia de insectos silvestres en la polinización de cultivo de palto.

Palabras clave: *Persea americana*, servicio ecosistémico, insectos silvestres, polinización, biodiversidad.

INTRODUCCIÓN

Los insectos polinizadores poseen un rol clave en los ecosistemas agrícolas, ya que contribuyen a la producción del 75% de los cultivos globales, lo que representa alrededor del 35% de la producción mundial de alimentos (Klein *et al.*, 2007). Generalmente, la polinización de cultivos basada en el uso de colmenas de *Apis*

mellifera, se asume como eficiente para la producción agrícola (Aizen *et al.*, 2009). Sin embargo, estudios recientes resaltan la importancia de insectos silvestres en la polinización de cultivos (Holzschuh *et al.*, 2012; Garibaldi *et al.*, 2013; Rader *et al.*, 2016; Isaacs *et al.*, 2017). Específicamente, se observó que una mayor diversidad de visitantes florales, combinado con la abeja melífera, aumentan la eficiencia de polinización y la producti-

vidad de los cultivos (Reilly *et al.*, 2020). El aporte de insectos silvestres es particularmente relevante para la producción de especies altamente dependiente de polinización biótica (FAO, 2016).

Los servicios ecosistémicos son recursos o procesos de los ecosistemas naturales que benefician a los seres humanos. La polinización de cultivos por parte de los insectos silvestres es un servicio ecosistémico vulnerable (Potts *et al.*, 2010; Bartomeus *et al.*, 2013), ya que se ha documentado que la abundancia y diversidad de estos insectos está disminuyendo en muchos paisajes agrícolas (Winfree *et al.*, 2007). Esto último se debe a la pérdida de hábitat, homogeneización de recursos y del paisaje (Dainese *et al.*, 2019) y a las aplicaciones cada vez más frecuentes de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades (Holzschuh *et al.*, 2012; Goulson, 2018; Leza *et al.*, 2018). En este sentido, en cultivos orgánicos (es decir, sin utilización de plaguicidas y fertilizantes de síntesis), la diversidad de enemigos naturales aumenta y por ende, se potencia el servicio ecosistémico de control biológico de plagas, reduciendo considerablemente las plagas de cultivos (Muneret *et al.*, 2018).

El palto (*Persea americana* Mill., Lauraceae) es originario del sur de México y América Central. Esta especie es polinizada en su localidad de origen por insectos silvestres del orden Díptera (Ish-am *et al.*, 1999). En Chile, la superficie cultivada ha alcanzado un 9,5% de la superficie total de frutales y un 42,1% de la superficie frutícola de la Región de Valparaíso, Chile central (ODEPA, 2018). De acuerdo a Lemus *et al.* (2010), la polinización es un proceso crítico en este cultivo, ya que los estados masculinos y femeninos de las flores maduran a destiempo, lo que se conoce como dicogamia protoginia. Por ello, una práctica común es facilitar la polinización del cultivo introduciendo en el huerto colmenas de *Apis mellifera* (De La Cuadra-Infante, 1999).

Tradicionalmente, la polinización del palto en Chile se ha realizado utilizando colmenas de la abeja melífera como agente polinizador, sin considerar el rol que pudiesen tener insectos silvestres en el servicio ecosistémico de polinización. Sin embargo, recientemente Monzón *et al.* (2020) documentaron cinco especies de abejas silvestres, como visitantes florales del palto en un predio ubicado en la localidad de Hijuelas, Región de Valparaíso. La polinización basada solamente en la abeja melífera implica un mayor riesgo para la producción, sobretodo bajo escenarios de cambio climático (Klein *et al.*, 2007; Bartomeus *et al.*, 2013). Adicionalmente, la utilización de plaguicidas en la agricultura reduce las poblaciones de insectos silvestres, y, por ende, su diversidad, lo que constituye una de las causas que explicaría el aumento en la demanda de colmenas de abejas para la polinización de cultivos a nivel global (Aizen y Harder, 2009; Requier *et al.*, 2018).

Los objetivos del estudio son: i) Estimar la diversidad taxonómica de visitantes florales del palto en un predio con manejo orgánico y otro con manejo convencional, ii) cuantificar la tasa de visita floral de insectos silvestres y de abeja melífera en los predios con ambos tipos de manejo, y iii) determinar el efecto de visitas de insectos silvestres y de la abeja melífera sobre la cuaja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Huertos

El presente estudio se realizó en dos huertos adultos de palto de variedad Hass, ubicados en la Provincia de Quillota, Región de Valparaíso, Chile. Un huerto con manejo convencional (15,8 ha) está ubicado en la Estación Experimental La Palma (32°53' S, 71°12' O), perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas y de los Alimentos de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Otro huerto (Granja Crisol) con manejo orgánico (7,5 ha) está ubicado en la localidad de Pocochay (32°50' S, 71°12' O). En ambos huertos se utiliza la densidad comercial recomendada de 6-10 colmenas/ha de abeja melífera como polinizador (De La Cuadra-Infante, 1999). Además, los dos huertos cuentan con la misma orientación, pendiente y están a más de 400 metros lineales de la ladera poniente del mismo cordón montañoso de la Cordillera de la Costa, el cual presenta abundante vegetación nativa de la formación del matorral y bosque esclerófilo costero. Las observaciones se realizaron en el *peak* del período de floración del palto, entre los meses de octubre y diciembre durante la temporada de 2015.

Diseño experimental

Sobre una imagen satelital de Google Earth de cada huerto (del 30 de agosto de 2015, a escala 1:1750), se dispuso una cuadrícula de 20 x 20 m (i.e., parcela de 400 m²/u), seleccionando en forma aleatoria 30 parcelas, dentro de las cuales, se eligió un árbol de palto como unidad experimental. En cada árbol, se delimitaron 2 sub-muestras de 1 m² cada una, ubicadas en la cara de orientación norte y sur de cada árbol (Valdés, 2002).

Muestreo de visitantes florales

En cada sub-muestra, se registró el número de individuos y el número de visitas florales realizadas por cada especie o morfo-especie. La observación directa se realizó durante 5 minutos (Díaz-Forestier *et al.*, 2009; Rivera-Hutinel y Acevedo-Orellana, 2017). Este muestreo se realizó dos veces para cada árbol, sumando un total de 20 minutos de observación por unidad de muestreo. Los datos obtenidos de ambas sub-muestras para cada unidad experimental, fueron acumulados en el caso de la riqueza y promediados para la abundancia.

Con la riqueza y abundancia de visitantes florales observadas en cada árbol y tipo de manejo agronómico, se calculó la diversidad mediante el índice de Shannon-Wiener. Luego se comparó la riqueza acumulada de visitantes florales entre ambos tipos de manejo agronómico. Dado que la distribución de la variable respuesta (i.e., riqueza de morfo-especies) tiene distribución de *Poisson*, se realizó un modelo general linealizado (GLM) con el tipo de manejo agronómico como factor fijo.

Tasa de visita floral

La tasa de visita floral fue estimada en forma separada para las visitas de la abeja melífera y para los insectos silvestres, considerando todas las especies silvestres nativas. Específicamente, la tasa de visita floral se estimó dividiendo el número de visitas florales de cada grupo de insectos (i.e., abeja melífera e insectos silvestres, observados durante 5 min) por el número de flores abiertas en cada sub-muestra de 1 m² y luego se estimó la proporción de la tasa de visita de insectos silvestres en la tasa de visita total.

Debido a que sólo se muestreó un huerto con manejo convencional y uno con manejo orgánico, se verificó la independencia espacial de la variable respuesta (i.e., tasa de visita floral) en cada árbol (i.e., unidades experimentales) con el propósito de considerarlos réplicas independientes de cada tipo de manejo agronómico. Para ello, se utilizó una prueba de Mantel que estima el grado de autocorrelación espacial en la variable respuesta entre los árboles (previamente georreferenciados) de cada huerto con distinto tipo de manejo agronómico.

Para comparar la proporción de la tasa de visita de los insectos silvestres en la tasa de visita total entre ambos tipos de manejo agronómico, se utilizó un modelo general linealizado mixto (GLMm), dado que la variable respuesta tiene distribución de Binomial, y se incluyó la fecha de muestreo como factor aleatorio.

Para analizar la importancia de los visitantes florales silvestres en la productividad del palto, se utilizó un GLMm, en el cual se consideró la cuaja como variable respuesta, las tasas de visita de abeja melífera e insectos silvestres, además del tipo de manejo agronómico como factores fijos, y la submuestra y la fecha de muestreo (2 en 2015) como factores aleatorios. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software R.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los arboles seleccionados en cada huerto, no mostraron autocorrelación espacial en la tasa de visita de insectos silvestres (Mantel test = -0,08; *P* = 0,72 para el predio con manejo orgánico y -0,07; *P* = 0,72 para el predio con manejo convencional), por lo que cada árbol (i.e., *n* = 30) fue considerado como réplica independiente de cada tipo de manejo agronómico.

Se registró una riqueza total de 18 visitantes florales, 16 en el predio con manejo orgánico y 13 en el predio con manejo convencional. La riqueza de insectos fue significativamente mayor en el predio con manejo orgánico que en el convencional (Tabla 1). Asimismo, la diversidad estimada mediante el índice de Shannon-Wiener, fue mayor en el huerto con manejo orgánico en comparación con el convencional (Tabla 2). Estos resultados coinciden con los de Ish-am *et al.* (1999) en su estudio en México, en el cual muestra una mayor riqueza de insectos en huertos donde no se utilizan plaguicidas en relación a huertos con un manejo tradicional. Una posible explicación adicional al efecto negativo de los plaguicidas, se debe a que en muchos predios orgánicos se utilizan cultivos de cobertura o bandas florales entre la hilera o se realizan prácticas que promueven una mayor diversidad vegetal (por ejemplo islas de hierbas aromáticas), que genera una mayor heterogeneidad de ambientes y por ende, hábitat para los polinizadores (Schulte *et al.* 2017).

Tabla 1. Modelo General Linealizado (GLM) donde se analiza la riqueza como variable respuesta y el tipo de manejo agronómico como factor fijo.

Table 1. Generalized Linear Model (GLM) where richness is analyzed as a response variable and the type of agronomic management as a fixed factor.

	IRR	Riqueza	
		CI	P
(Intercepto)	1,55	1,14 – 2,05	0,003
Tipo de manejo (orgánico)	1,73	1,21 – 2,52	0,003
Observaciones		58	
Devianza		64,483	

Tabla 2. Ordenes de insectos, riqueza media y estimación del índice Shannon-Wiener para cada tipo de manejo agronómico.
Table 2. Insect orders, average richness and Shannon-Wiener index estimation for each type of agronomic management.

Predio	Órdenes				Riqueza media ± ES	Índice de diversidad Shannon-Wiener
	Díptera	Himenóptera	Lepidóptera	Coleóptera		
Convencional	5	1	0	2	1,6 ± 0,2	1,2
Orgánico	9	4	1	2	2,7 ± 0,3	1,8

La riqueza de especies estuvo representada por los ordenes Díptera, Himenóptera, Lepidóptera y Coleóptera, similar a lo observado por Valdés (2002). Los dípteros fueron el orden más abundante durante la floración. Este resultado es similar a lo reportado en México por Pérez-Balam et al. (2012). Si bien en este estudio se observaron himenópteros de la familia Formicidae en flores de palto, estos insectos no participan en la transferencia de polen (Apablaza, 2000), por lo que no fueron considerados dentro de los análisis de esta investigación.

La abeja melífera fue el principal visitante floral, con un 65% del total de las visitas registradas ($\chi^2 = 2,042$, $df = 1$, $P = 0,153$; Figura 1). Por otra parte, la tasa de visita de insectos silvestres, así como la relación insectos silvestres/abeja melífera no difirió con el tipo de manejo agronómico (Tabla 3).

La productividad del palto fue explicada en forma positiva y significativa por la tasa de visita de insectos silvestres ($P = < 0,001$; Tabla 4) y no así por la tasa de visita de la abeja melífera. Esta relación cambia con el

tipo de manejo agronómico, siendo mayor en el predio con manejo convencional. Este resultado apoya lo documentado recientemente por Monzón et al. (2020) quienes observaron abejas nativas silvestres visitando flores del cultivo. Dicha observación está en línea con una serie de trabajos recientes que han documentado que una parte importante de la productividad de muchos cultivos está explicada por la polinización realizada por insectos silvestres (Holzschuh et al., 2012; Garibaldi et al., 2013; Rader et al., 2016; Reilly et al., 2020).

En este estudio, las observaciones se realizaron en el *peak* del período de floración del palto, entre los meses de octubre y diciembre. Un aspecto crítico para la productividad del palto en Chile, es la polinización de la etapa inicial del período de floración en el mes de octubre (Lemus et al., 2010), ya que las bajas temperaturas limitan la polinización mediada por la abeja melífera. Este reporte mostró que en promedio 34% de los visitantes florales correspondieron a insectos silvestres. De mismo modo, Garibaldi et al. (2013, 2016) mencionan que los máximos rendimientos de producción de frutas se alcanzan por la combinación de polinizadores comerciales (i.e., abeja melífera) y visitantes florales silvestres.

Un aspecto que podría explicar el porqué la tasa de visita por insectos silvestres fue mayor en el predio con manejo convencional que en el orgánico, a pesar de que ambos predios están inmersos en un paisaje agrícola similar, es que en huertos convencionales se aplican productos azucarados durante la floración del palto para atraer más visitas, lo que pudo haber favorecido mayores tasas de visita floral.

CONCLUSIONES

Se cuantifica, por primera vez en Chile, el aporte del servicio ecosistémico de polinización por insectos silvestres en la productividad de un cultivo agrícola de importancia económica. El huerto orgánico registró una mayor diversidad taxonómica de visitantes florales. La relación de visitas florales de abeja melífera/insectos silvestres no difirió entre los distintos tipos de manejo agronómico. Por otro lado, la tasa de visita de

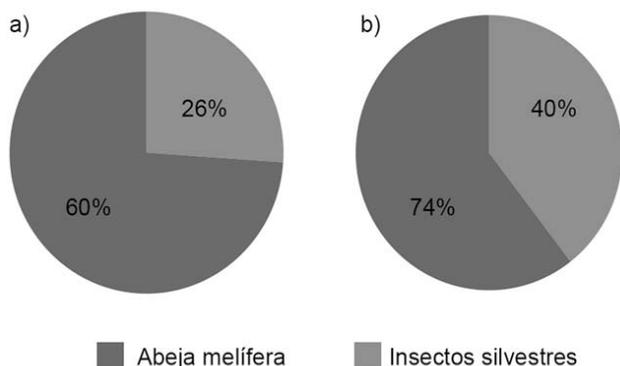


Figura 1. Tasa promedio de visitas florales de abeja melífera e insectos silvestres en el cultivo de palto en la temporada de floración de 2015. a) predio convencional, b) predio orgánico.

Figure 1. The average rate of floral visits by honeybees and wild insects in the avocado crop during the 2015 flowering season. a) conventional management, b) organic management.

Tabla 3. Modelo General Linealizado Mixto (GLMm) donde se analiza la tasa de visitas de insectos silvestres como variable respuesta y el tipo de manejo agronómico como factor fijo. La fecha de muestreo fue incluida como factor aleatorio.

Table 3. Mixed Generalized Linear Model (GLMm) where the rate of floral visits by wild insects is analyzed as a response variable and the type of agronomic management as a fixed factor. The date of sampling was included as a random factor. The date of

	Visitas de insectos silvestres/visitas totales		
	Odds Ratio	CI	P
Factor fijo			
(Intercepto)	0,04	0,01 – 0,15	< 0,001
Tipo de manejo (orgánico)	0,53	0,05 – 6,02	0,608
Factor aleatorio			
σ^2		0,049	
τ^{00} , fecha de muestreo		0,000	
$N_{\text{fecha de muestreo}}$		2	
$ICC_{\text{fecha de muestreo}}$		0,004	
Observaciones		108	
Devianza		0,041 / 0,041	

Tabla 4. Modelo General Linealizado Mixto (GLMm) donde se analiza el número de cuajas como variable respuesta. Los factores fijos son: las tasas de visita de la abeja melífera e insectos silvestres y el tipo de manejo agronómico. El árbol (sub-muestra) y la fecha de muestreo fueron incluidos como factores aleatorios.

Table 4. Mixed Generalized Linear Model (GLMm) where the number of fruit sets is analyzed as a response variable. The fixed factors are: the rate of floral visits by honeybees and wild insects and the type of agronomic management. The tree (sub-sample) and the date of sampling were included as a random factor.

	Cuaja		
	IRR	CI	P
Factor fijo			
(Intercepto)	11,79	8,98 – 15,47	< 0,001
TV <i>A. mellifera</i>	0,81	0,57 – 1,16	0,247
TV insectos silvestres	9,21	4,62 – 18,36	< 0,001
Tipo de manejo (2)	1,01	0,93 – 1,10	0,768
Factor aleatorio Partes			
τ^{00} , temporada		0,001	
τ^{00} , sub-muestra		0,036	
$N_{\text{temporada}}$		2	
$N_{\text{sub-muestra}}$		2	
$ICC_{\text{temporada}}$		0,001	
$ICC_{\text{sub-muestra}}$		0,035	
Observaciones		198	
Devianza		1712,9	

insectos silvestres explica en forma positiva y significativa la productividad del palto.

Por lo tanto, se resalta la necesidad de contar con más información sobre el papel de los insectos silvestres en la producción agrícola.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a M. García y familia (Granja Crisol) y A. Cortés (Estación Experimental La Palma) por facilitar los huertos para la realización de este estudio. Asimismo, se agradece al Gobierno de Ecuador mediante su Secretaria de Educación Superior por la beca de estudios de postgrado otorgada a D. Chávez-Cárdenas. Asimismo, se agradece a F. Olea, F. Soto, F. Laneri, A. Ramm y M. Solar por su asistencia en los muestreos y a R. Barahona y W. Barros por su ayuda en la identificación taxonómica de visitantes florales. Finalmente, se agradece a Andrei Tchourakov por la revisión del texto en inglés. El estudio fue parcialmente financiado por ANID/PIA/ACT192027.

REFERENCIAS

- 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, 1579–1588. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp076>
- Aizen, M.A., Harder, L.D., 2009. Report The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination. *Current Biology* 19, 915–918. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.03.071>
- Apablaza, J., 2000. Introducción a la entomología general y agrícola. Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Bartomeus, I., Ascher, J.S., Gibbs, J., Danforth, B.N., Wagner, D.L., Hedtke, S.M., Winfree, R., 2013. Historical changes in northeastern US bee pollinators related to shared ecological traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110, 4656–4660. <https://doi.org/10.1073/pnas.1218503110>
- Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., Carvalheiro, L.G., Chaplin-Kramer, R., Gagic, V., Garibaldi, L.A., Ghazoul, J., Grab, H., Jonsson, M., Karp, D.S., Kennedy, C.M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D.A., Letourneau, D.K., Marini, L., Poveda, K., Rader, R., Smith, H.G., Tscharntke, T., Andersson, G.K.S., Badenhausser, I., Baensch, S., Bezerra, A.D.M., Bianchi, F., Boreux, V., Bretagnolle, V., Caballero-Lopez, B., Cavigliasso, P., Cetkovic, A., Chacoff, N.P., Classen, A., Cusser, S., Silva, F., de Groot, G.A., Dudenhoffer, J.H., Ekroos, J., Fijen, T., Franck, P., Freitas, B.M., Garratt, M.P.D., Gratton, C., Hipolito, J., Holzschuh, A., Hunt, L., Iverson, A.L., Jha, S., Keasar, T., Kim, T.N., Kishinevsky, M., Klatt, B.K., Klein, A.M., Krewenka, K.M., Krishnan, S., Larsen, A.E., Lavigne, C., Liere, H., Maas, B., Mallinger, R.E., Pachon, E.M., Martinez-Salinas, A., Meehan, T.D., Mitchell, M.G.E., Molina, G.A.R., Nesper, M., Nilsson, L., O'Rourke, M.E., Peters, M.K., Plecas, M., Potts, S.G., Ramos, D.D., Rosenheim, J.A., Rundlof, M., Rusch, A., Saez, A., Scheper, J., Schleuning, M., Schmack, J.M., Sciligo, A.R., Seymour, C., Stanley, D.A., Stewart, R., Stout, J.C., Sutter, L., Takada, M.B., Taki, H., Tamburini, G., Tschumi, M., Viana, B.F., Westphal, C., Willcox, B.K., Wratten, S.D., Yoshioka, A., Zaragoza-Trello, C., Zhang, W., Zou, Y., Steffan-Dewenter, I., 2019. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances* 5. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>
- De La Cuadra-Infante, S., 1999. Importancia del manejo y calidad de las colmenas de abejas (*Apis mellifera* L.) en la polinización del palto (*Persea americana* Mill.). *Revista Chapingo serie Horticultura* 5, 145–150.
- Díaz-Forestier, J., Gómez, M., Montenegro, G., 2009. Nectar volume and floral entomofauna as a tool for the implementation of sustainable apicultural management plans in *Quillaja saponaria* Mol. *Agroforestry Systems* 76, 149–162. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9193-7>
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2016. Línea Base del Servicio Ecosistémico de la Polinización en Chile: Documento de síntesis. Informe Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, <http://www.fao.org/documents/card/en/c/3dc11a8f-06eb-4108-9cff-f21f01b032f3/>
- Garibaldi, L.A., Carvalheiro, L.G., Vaissiere, B.E., Gemmill-Herren, B., Hipolito, J., Freitas, B.M., Ngo, H.T., Azzu, N., Saez, A., Astrom, J., An, J.D., Blochtein, B., Buchori, D., Garcia, F.J.C., da Silva, F.O., Devkota, K., Ribeiro, M.D., Freitas, L., Gaglianone, M.C., Goss, M., Irshad, M., Kasina, M., Pacheco, A.J.S., Kiill, L.H.P., Kwapong, P., Parra, G.N., Pires, C., Pires, V., Rawal, R.S., Rizali, A., Saraiva, A.M., Veldtman, R., Viana, B.F., Witter, S., Zhang, H., 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science* 351, 388–391. <https://doi.org/10.1126/science.aac7287>
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Kremen, C., Carvalheiro, L.G., Harder, L.D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N.P., Dudenhoffer, J.H., Freitas, B.M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., Hipolito, J., Holzschuh, A., Howlett, B., Isaacs, R., Javorek, S.K., Kennedy, C.M., Krewenka, K.M., Krishnan, S., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Motzke, I., Munyuli, T., Nault, B.A., Otieno, M., Petersen, J., Pisanty, G., Potts, S.G., Rader, R., Ricketts, T.H., Rundlof, M., Seymour, C.L., Schuepp, C., Szentgyorgyi, H., Taki, H., Tscharntke, T., Vergara, C.H., Viana, B.F., Wanger, T.C., Westphal, C., Williams, N., Klein, A.M., 2013. Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science* 339, 1608–1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- Goulson, D., 2018. Call to restrict neonicotinoids. *Science* 360, 973–973. <https://doi.org/10.1126/science.aau0432>
- Holzschuh, A., Dudenhöffer, J.H., Tscharntke, T., 2012. Landscapes with wild bee habitats enhance pollination, fruit set and yield of sweet cherry. *Biological Conservation* 153, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.04.032>
- Isaacs, R., Williams, N., Ellis, J., Pitts-Singer, T.L., Bommarco, R., Vaughan, M., 2017. Integrated Crop Pollination: Combining strategies to ensure stable and sustainable yields of pollination-dependent crops. *Basic and*

- Applied Ecology 22, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.baee.2017.07.003>
- Ish-am, G., Barrientos-Priego, F., Castaneda-Vildozola, A., Gazit, S., 1999. Avocado (*Persea americana* Mill.) pollinators in its region of origin. Revista Chapingo serie Horticultura 5, 137–143.
- Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 274, 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Lemus, G., Ferreyra, R., Gill, P., Sepúlveda, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C., Celedon, J.M., 2010. El Cultivo del Palto. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago.
- Leza, M., Watrous, K., Bratu, J., Woodar, S., 2018. Effects of neonicotinoid insecticide exposure and monofloral diet on nest-founding bumblebee queens. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 285, 20180761. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0761>
- Monzón, V.H., Avendaño-Soto, P., Araujo, R.O., Garrido, R., Mesquita-Neto, J.N., 2020. Avocado crops as a floral resource for native bees of Chile. Revista Chilena de Historia Natural 93, 1–7. <https://doi.org/10.1186/s40693-020-00092-x>
- Muneret, L., Thiery, D., Joubard, B., Rusch, A., 2018. Deployment of organic farming at a landscape scale maintains low pest infestation and high crop productivity levels in vineyards. Journal of Applied Ecology 55, 1516–1525. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13034>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), 2018. Ficha Nacional de Frutales, <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/06/Ficha-Nacional-2018.pdf>
- Pérez-Balam, J., Quezada-Euan, J.J., Alfaro-Bates, R., Medina, S., McKendrick, L., Soro, A., Paxton, R.J., 2012. The contribution of honeybees, flies, and wasps to avocado (*Persea americana*) pollination in Southern Mexico. Journal of Pollination Ecology 8, 42–47.
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E., 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. Trends in Ecology and Evolution 25, 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L.A., Garratt, M.P.D., Howlett, B.G., Winfree, R., Cunningham, S.A., Mayfield, M.M., Arthur, A.D., Andersson, G.K.S., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P., Entling, M.H., Foully, B., Freitas, B.M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., Griffin, S.R., Gross, C.L., Herbertsson, L., Herzog, F., Hipolito, J., Jaggard, S., Jauker, F., Klein, A.M., Kleijn, D., Krishnan, S., Lemos, C.Q., Lindstrom, S.A.M., Mandelík, Y., Monteiro, V.M., Nelson, W., Nilsson, L., Pattemore, D.E., Pereira, N.D., Pisanty, G., Potts, S.G., Reemerf, M., Rundlof, M., Sheffield, C.S., Scheper, J., Schuepp, C., Smith, H.G., Stanley, D.A., Stout, J.C., Szentgyorgyi, H., Taki, H., Vergara, C.H., Viana, B.F., Woyciechowski, M., 2016. Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 113, 146–151. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112>
- Reilly, J.R., Artz, D.R., Biddinger, D., Bobiwash, K., Boyle, N.K., Brittain, C., Brokaw, J., Campbell, J., Daniels, J., Gillespie, R.L., Elle, E., Ellis, J.D., Fleischer, S., Gibbs, J., Gundersen, K.B., Gut, L., Joshi, N., Haas, M., Hoffman, G., Winfree, R., 2020. Crop yield in the USA is frequently limited by a lack of pollinators. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 287, 20200922. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0922>
- Requier, F., Antunez, K., Morales, C.L., Sanchez, P.A., Castillos, D., Garrido, P.M., Giacobino, A., Reynaldi, F.J., Londono, J.M.R., Santos, E., Garibaldi, L.A., 2018. Trends in beekeeping and honey bee colony losses in Latin America. Journal of Apicultural Research 57, 657–662. <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1494919>
- Rivera-Hutinel, A., Acevedo-Orellana, F., 2017. Biología floral y reproductiva de *Escallonia pulverulenta* (Ruiz et Pav.) Pers. (Escalloniaceae) y su relación con los visitantes florales. Gayana Botánica 74, 82–93. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432017005000322>
- Schulte, L.A., Niemi, J., Helmers, M.J., Liebman, M., Arbuckle, J.G., James, D.E., Randall, K., Neal, M.E.O., Tomer, M.D., Tyndall, J.C., Drobney, P., Neal, J., Ryswyk, G., Van, Schulte, L.A., Niemi, J., Helmers, M.J., Liebman, M., Arbuckle, J.G., James, D.E., 2017. Correction: Prairie strips improve biodiversity and the delivery of multiple ecosystem services from corn-soybean croplands (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (2017) 114 (11247–11252) DOI: 10.1073/pnas.1620229114). Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114(50), E10851. <https://doi.org/10.1073/pnas.1719680114>
- Valdés, C., 2002. Evaluación de la actividad de *Apis mellifera* L. y otros insectos asociados a la floración del palto (*Persea americana* Mill.) Hass en dos localidades de la V región (Quillota y La Ligua). Taller de Licenciatura. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Winfree, R., Williams, N.M., Dushoff, J., Kremen, C., 2007. Native bees provide insurance against ongoing honey bee losses. Ecology Letters 10, 1105–1113. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01110.x>

