

Valoración económica de la polinización entomófila en cultivos de la Argentina: posibles efectos de la crisis de polinizadores en la agricultura

BASUALDO, Marina ^{1*} & CAVIGLIASSO, Pablo ²

¹ PROANVET-Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil, Buenos Aires (Argentina).

² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez. Córdoba (Argentina).

*E-mail: mbasu@vet.unicen.edu.ar

Recibido 20 - VIII - 2022 | Aceptado 22 - III - 2023 | Publicado 31 - III - 2023

<https://doi.org/10.25085/rsea.820106>

Economic assessment of entomophilous pollination in crops from Argentina: possible effects of the pollinator crisis in agriculture

ABSTRACT. In Argentina, food production is the basis of economic and social development. Several crops depend on entomophilous pollination. However, wild and managed pollinators are threatened by conventional agricultural management practices. In this work, we evaluate the economic value attributed to entomophilous pollination (EEV) of the main crops between 2013 and 2018. Our study focused on analyses of crops with varying degrees of pollinator dependence in terms, their harvested area, yield and total economic value (EV). The EEV attributed to pollinators and the vulnerability of each crop category were estimated. The EEV attributed exclusively to entomophilous pollination, in the 27 crops analyzed, was US\$ 4.437 million, representing a contribution of the pollinators of 21,83% of the EV and 13,8 million tons of agricultural products. The EEV in decreasing order is industrial crops, fruit trees, vegetables, nuts and citrus. In industrial crops, where managed pollinators are not used, the contribution of pollinators was high, reaching US\$ 3.655 million. Fruit trees and vegetables are the most vulnerable to an eventual decrease or absence of pollinators with estimated vulnerability rates of 68 and 38% respectively. These results show the economic contribution of the pollinators to the country's agriculture, the high vulnerability of agroecosystems and the effects in quantitative terms of a potential reduction in food production due to a pollination deficit. Finally, this work may be useful to guide decision-making and establish public policies aimed at promoting diversification and sustainability of agricultural models to guarantee food security.

KEYWORDS. Crop pollination. Economic assessment. Productivity. Sustainable agriculture. Vulnerability.

RESUMEN. En la República Argentina la producción de alimentos es la base del desarrollo económico y social. Varios cultivos dependen de la polinización entomófila, por lo que este servicio ecosistémico es relevante. Sin embargo, las prácticas de manejo de la agricultura convencional constituyen una amenaza para los polinizadores silvestres y manejados. En este trabajo, evaluamos el valor económico atribuido a la polinización entomófila (VEP) de los principales cultivos en el período 2013-2018. Las variables consideradas fueron la superficie cosechada, productividad y el valor económico total (VET) A partir de estos datos se estimó el VEP y la vulnerabilidad de las diferentes categorías de cultivos. El VEP para los 27 cultivos analizados alcanzó los 4.437 millones de US\$, representando una contribución de los polinizadores del

21,83% del VET y 13,8 millones de toneladas de productos agropecuarios. Las categorías de alimentos con mayor VEP correspondieron a los cultivos industriales, seguidos por los frutales, hortalizas, frutos secos y cítricos. En los cultivos industriales, donde no se utilizan polinizadores manejados, la contribución de los polinizadores fue elevada, alcanzando 3655 millones de US\$. Los frutales y hortalizas son los más vulnerables a una eventual disminución o ausencia de polinizadores con tasas de vulnerabilidad estimadas de 68 y 38% respectivamente. Estos resultados evidencian la contribución económica de los polinizadores a la agricultura del país, muestran la alta vulnerabilidad de los sistemas productivos y los efectos en términos cuantitativos de una potencial reducción en la producción de alimentos debida a un déficit de polinización. Finalmente, este trabajo puede resultar útil para orientar la toma de decisiones y establecer políticas públicas tendientes a promover la diversificación y sustentabilidad de los modelos agrícolas para garantizar la seguridad alimentaria.

PALABRAS CLAVE. Agricultura sostenible. Polinización de cultivos. Productividad. Valoración económica. Vulnerabilidad.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los cultivos del mundo, se benefician de la polinización entomófila, principalmente de las abejas silvestres y manejadas. La abeja melífera (*Apis mellifera* Linnaeus) es el principal polinizador en los agroecosistemas. Las evidencias muestran que al menos 87 cultivos (Klein et al., 2007), muchos de ellos destinados a alimentación, son dependientes de la polinización biótica, por lo que este servicio ecosistémico es relevante en términos de seguridad alimentaria. Desde una perspectiva económica, la polinización entomófila no solo incrementa los rendimientos, sino que además mejora la calidad de frutos y semillas de varias especies vegetales destinadas ya sea a alimentación animal o humana (Basualdo & Bedascarrabure, 2003; Imperatriz-Fonseca et al., 2006; Klein et al., 2007; Basualdo et al., 2013; Garibaldi et al., 2013; Stanley et al., 2013; Gianini et al., 2015; Gatica Hernández et al., 2017; Basualdo et al., 2019; Cavigliasso et al., 2020).

En la Argentina, la producción de alimentos y bebidas es la base del desarrollo económico y social; teniendo además un papel relevante en el mundo como productor y exportador de una gran variedad de productos, muchos de ellos provenientes de las economías regionales y con alto valor agregado. Se estima que la exportación de productos de origen agropecuario supera el 60% del total de productos comercializados, exportando algo más de 50.000 millones de US\$ entre productos primarios y manufacturas para el período 2010-2016 (MINAGRI, 2016).

El proceso de la intensificación de la actividad agrícola y la expansión de la superficie cultivada, principalmente con monocultivos no es un fenómeno exclusivo de la región pampeana y se ha extendido a las regiones centro, noroeste y el gran Chaco. Dicho proceso de expansión, denominado "agriculturización", se caracterizó por transformaciones vinculadas con la incorporación de variedades de semillas transgénicas, la consolidación de la siembra directa, el incremento en la aplicación de insumos principalmente agroquímicos (Reboratti, 2006), la

deforestación y fragmentación del paisaje (Gasparri & Grau, 2009) produciendo pérdida de hábitats para los polinizadores silvestres, disminuyendo así su diversidad y abundancia (Chacoff & Aizen, 2006; Winfree et al., 2009). Múltiples estudios describieron los efectos letales y subletales de los agroquímicos sobre el comportamiento de búsqueda de alimento y las habilidades de memoria-aprendizaje de las abejas, lo que provocó reducciones agudas de las poblaciones de abejas melíferas (Mullin et al., 2010; Blacquiere et al., 2012; Vázquez et al., 2020). Sumado a esto, la aplicación indiscriminada de herbicidas disminuye la diversidad floral provocando problemas nutricionales e inmunosupresión en las abejas (Basualdo et al., 2014; Barragán et al., 2022). La combinación de todos estos factores induce al trastorno de colapso de colonias de abejas melíferas (Mullin et al., 2010) y a la disminución de la biodiversidad de polinizadores, ambos fenómenos de interés mundial.

Si bien los polinizadores son parte integral de los ecosistemas y de los sistemas agrícolas, y es reconocido su rol en la producción de alimentos, las estimaciones sobre su contribución en la productividad y las ganancias de los agricultores son escasas. Los paquetes tecnológicos que se utilizan en agricultura no incluyen, generalmente, la polinización entomófila como un factor de importancia productiva. En este sentido, se cuantifican las pérdidas provocadas por un mal manejo integral, como el raleo, la poda, aspectos nutricionales, control de plagas, manejo del riego, pero no se consideran las pérdidas causadas por una polinización deficiente (Basualdo, 2006). En la agricultura convencional, donde la producción de alimentos se realiza en grandes extensiones de tierra cultivada, la capacidad de polinización de las abejas nativas es limitada, debido a la disminución de la abundancia de sus poblaciones (Garibaldi et al., 2017). En este contexto, la disponibilidad de abejas manejadas se vuelve necesaria para mitigar las crecientes necesidades de polinización (Brittain et al., 2013).

Considerando la importancia de la agricultura para la Argentina, es necesario valorar el servicio de polinización

entomófila en la producción de alimentos. En este estudio, estimamos el valor económico de la polinización entomófila de los principales cultivos del país para el período 2013-2018, como herramienta para destacar la contribución de los polinizadores en términos productivos, socio-económicos y comprender la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas. La vulnerabilidad, definida como la pérdida potencial relativa de producción atribuible a la falta o a la deficiente polinización, fue estimada para cada cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información para la elaboración de la base de datos de los principales cultivos que dependen de la polinización entomófila en la Argentina para el período 2013-2018 se obtuvo a partir de las bases de datos FAO y MINAGRI (FAOSTAT, 2019; MINAGRI, 2019). Se consideraron aquellos cultivos que son relevantes en cuanto a los siguientes criterios: a) superficie implantada (ha), b) cultivos destinados a la exportación, y c) cultivos relevantes para las economías regionales (Tabla I). La información relevada de las bases de datos antes mencionadas, para cada cultivo fue: el área cosechada (ha), rendimiento (Kg/ha), producción total (Tn) y valor económico total (VET en millones de US\$). A partir de estos datos, para cada cultivo se estimó el precio promedio por tonelada (US\$/Tn) y el ingreso bruto por hectárea (US\$/ha). Los cultivos destinados a producción de semilla híbrida de girasol y cebolla, ajo, berenjena, tomate, kiwi, higo, papaya, frambuesa, otros berries y aromáticas no fueron considerados en el análisis, debido a que la información necesaria para realizar las estimaciones no es de libre acceso, no se encuentra disponible o las bases de datos están incompletas.

El valor económico atribuido a la polinización entomófila (VEP) fue estimado considerando para cada cultivo el nivel de dependencia de polinización, según la metodología de Gallai et al. (2009), mediante la fórmula:

$$VEP = \sum_{i=1}^j P_i * Q_i * D_i$$

Donde, i = cultivo ($i = 1$ to j), Q_i = producción total, P_i = el valor económico total del cultivo i , y D_i = índice de dependencia de la polinización para cada cultivo i . Para las variables Q_i y P_i se consideró el valor de cada año y el promedio fue usado para las estimaciones.

Para conocer la vulnerabilidad de cada cultivo, estimada como la pérdida potencial de productividad debido a la falta o a la deficiente polinización, se calculó la Tasa de Vulnerabilidad (TV) (Gallai et al., 2009), considerando el valor económico total y atribuido a la polinización entomófila ($TV = VEP / VET$). La productividad debida a la polinización entomófila fue estimada considerando la producción total de cada cultivo (Toneladas) y su nivel de dependencia de los polinizadores.

Contribución de la polinización entomófila y categorías de dependencia

Se utilizaron cuatro clases de dependencia según Klein et al. (2007), las mismas se basan en la magnitud de la reducción de la producción de cada cultivo, cuantificada en parcelas experimentales con exclusión de polinizadores. Las categorías son: a) esencial: cuando la ausencia de polinizadores produce reducciones de productividad de más del 90%; b) alta: con reducciones entre >40 y <90%; c) moderada: >10-40% y d) baja: reducciones > 0 pero < 10%. Para la soja (*Glycine max* L.), poroto (*Phaseolus vulgaris* L.), pomelo (*Citrus x paradisi* Macfad) y arándano (*Vaccinium corymbosum* L.), el grado de dependencia considerado fue el obtenido de trabajos realizados con las variedades utilizadas en nuestro país (Hoc & Amela García, 1999; Blettler et al., 2018; Chacoff & Aizen, 2006; Cavigliasso et al., 2020, respectivamente), para los otros cultivos se utilizaron los valores reportados en Latinoamérica por Giannini et al. (2015), el Programa Nacional Apicultura del INTA (PROAPI) y empresas que brindan dichos servicios.

Los cultivos fueron agrupados según las categorías propuestas por FAO, "Grupos de productos" dentro de la sistematización realizada en las estadísticas de FAO (<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>), en: hortalizas, frutos, frutos secos, cultivos industriales (oleaginosas y fibras) y cítricos. Estos últimos, fueron considerados en una categoría separada de los frutales, para evitar la subestimación del VEP, ya que la mayoría de los cítricos tienen baja dependencia de polinización y en los últimos años se comenzaron a implantar algunas variedades partenocárpicas (Vardi et al., 2008; Mesejo et al., 2013; Montalt et al., 2021).

RESULTADOS

El valor económico total atribuido exclusivamente a la polinización entomófila, en los 27 cultivos analizados, fue de 4.437 millones de US\$, que representó el 21,83% del valor económico total de dichos cultivos. En 13 cultivos, la polinización es esencial y de alta dependencia, siendo el aporte de los polinizadores para ambas categorías, equivalente a 679 millones de US\$ (Tabla I y II). Los cultivos representados en estas clases de dependencia fueron los frutales de carozo y pepita, arándano, mango, membrillo, almendro, melón, sandía, calabaza y palto, ocupando el 0,6% de la superficie total implantada por los 27 cultivos. En todos estos cultivos se utiliza polinización gestionada por colmenas de abejas melíferas, excepto en mango y membrillo.

En las especies de moderada dependencia, que incluyó a los cultivos de frutilla, pomelo, colza, soja, girasol y algodón, donde los incrementos en rindes asociados a la

Tabla I. Lista de cultivos de la Argentina incluidos en la estimación del valor económico de la polinización entomófila (VEP). Los valores se obtuvieron mediante el cálculo del promedio de los estimadores para el periodo 2013-2018 (estadísticas FAO, 2019). Se indica el porcentaje de dependencia (DP), el grado de profesionalización de su servicio de polinización (SP), la categoría FAO donde se incluye cada cultivo y las estadísticas productivas necesarias para realizar los cálculos económicos propuestos.

Nombre científico	Cultivo	DP	SP	Categoría FAO ^a	Área promedio cosechada (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Precio (US\$/Tn)	Estimación anual promedio total			Estimación anual promedio atribuida a polinizadores		
								Producción (Tn) ^b	Valor econ. de la producción (US\$/ha) ^c	VET (M US\$)	Producción (Tn)	Valor econ. de la producción (US\$/ha)	VET (M US\$)
<i>Arachis hypogaea</i> (L.)	Mani	5	NO	FRS	390738,40	2693,80	1141,00	1036015,40	3051,74	666,34	51800,80	152,60	33,32
<i>Brassica napus</i> (L.)	Colza	27	NO	IOF	40493,00	1876,60	241,35	73883,80	446,48	19,15	19948,62	120,55	5,17
<i>Capsicum annuum</i> (L.)	Pimiento	5	NO	HOC	6686,60	22143,40	790,13	148070,60	17362,50	115,92	7403,56	868,13	5,80
<i>Carthamus tinctorius</i> (L.)	Cártamo	5	NO	IOF	38178,60	661,20	169,72	25748,60	111,28	3,95	1287,44	5,55	0,20
<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. y Nakai	Sandía	95	SI	HOC	9114,00	13899,80	115,40	126682,60	1602,60	14,63	120348,50	1522,47	13,90
<i>Citrus × paradisii</i> (Macfad)	Pomelo	32	NO	FRC	4994,20	23728,94	162,18	117795,20	3839,40	19,82	37694,46	1228,58	6,33
<i>Citrus reticulata</i> (Blanco)	Mandarino	5	NO	FRC	31143,80	145961,80	136,47	454035,00	18955,70	60,20	22701,76	947,77	3,00
<i>Citrus x limon</i> (L.) Burm	Limón	5	NO	FRC	45464,00	324724,60	148,05	1471159,20	48655,88	200,90	73557,98	2432,82	10,05
<i>Citrus x sinensis</i> (Osbeck)	Naranja	5	NO	FRC	44792,60	220652,80	100,75	988156,60	22101,60	97,22	49407,84	1105,08	4,85
<i>Cucumis melo</i> (L.)	Melón	95	SI	HOC	5280,20	15501,80	301,05	81743,80	4776,93	24,63	77656,62	4538,05	23,40
<i>Cucurbita</i> spp.	Calabaza	95	SI	HOC	18888,00	14416,60	435,50	272313,20	6279,18	118,65	258697,56	5965,23	112,70
<i>Cydonia oblonga</i> (Miller)	Membrillo	65	NO	FRF	3227,60	84554,80	199,43	27291,60	16871,88	5,45	17739,56	10966,73	3,52
<i>Fragaria</i> spp.	Frutilla	25	SI	HOC	1047,40	124078,60	1930,25	12991,40	237665,38	12,47	3247,88	59416,32	3,13
<i>Glycine max</i> (L.)	Soja	20	NO	IOF	18349784,20	2890,20	312,94	53271145,40	907,78	16652,2	10654229,08	181,56	3330,44
<i>Gossypium hirsutum</i> (L.)	Algodón	25	NO	IOF	381293,20	2123,40	580,62	783599,20	1261,16	422,72	195899,82	315,28	105,66
<i>Helianthus annuus</i> (L.)	Girasol	25	NO	IOF	1522518,80	2001,80	278,42	3061263,80	555,24	855,58	765315,98	138,82	213,88
<i>Linum usitatissimum</i> (L.)	Lino	5	NO	IOF	15000,00	1173,80	15,30	17591,00	17,94	0,28	879,58	0,90	0,05
<i>Malus domestica</i> (Borkh)	Manzano	65	SI	FRF	31936,40	30139,40	284,72	962511,40	8658,86	278,46	625632,42	5628,26	181,00
<i>Mangifera indica</i> (L.)	Mango	65	NO	FRF	267,20	80475,60	99,35	2150,00	7990,60	0,20	1397,52	5193,90	0,13
<i>Persea americana</i> (Miller)	Palto	65	SI	FRF	585,20	67502,60	100,53	3949,80	6817,65	0,40	2567,38	4431,48	0,25
<i>Phaseolus vulgaris</i> (L.)	Poroto	15	NO	HOC	395878,80	1152,20	403,43	457646,20	423,85	242,95	68646,96	63,58	36,45
<i>Prunus cerasus</i> (L.)	Cerezo	65	SI	FRF	1719,80	4133,00	1197,55	7045,20	4723,70	8,40	4579,40	3070,38	5,47
<i>Prunus domestica</i> (L.)	Ciruelo	65	SI	FRF	16864,80	6342,12	322,02	112867,80	1769,10	30,92	73364,08	1149,94	20,08
<i>Prunus dulcis</i> (Miller)	Almendro	65	SI	FRS	390,40	18756,00	527,15	684,00	9762,52	0,35	444,64	6345,68	0,23
<i>Prunus persica</i> (L.) Stokes	Durazno	65	SI	FRF	13698,00	13867,00	33335,03	187888,40	563932,57	63,95	122127,48	366556,17	41,55
<i>Pyrus communis</i> (L.)	Pera	65	SI	FRF	25229,20	35189,56	277,36	886989,00	9877,54	251,96	576542,86	6420,42	163,78
<i>Vaccinium corymbosum</i> (L.)	Arándano	70	SI	FRF	2640,40	6048,00	10152,00	16008,40	61141,72	161,72	11205,88	42799,20	113,20

^a Categorías de productos alimenticios propuestas por la FAO: **FRC**, Cítricos; **FRF**, Frutales; **FRS**, Frutos Secos; **HOC**, Hortícolas; **IOF**, Industriales. ^b Cantidad total de productos alimenticios (Tn) cosechados anualmente para cada cultivo. expresada en Toneladas. ^c Valor económico de la producción anual estimado en dólares por hectárea. **DP**: dependencia promedio de la polinización expresada en porcentaje (Klein et al., 2007 actualizado con Gianni et al., 2015; Hoc & Amela García, 1999; Blettler et al., 2018; Chacoff & Aizen, 2006; Cavigliasso et al., 2020). **SP**: Gestión de servicios de polinización profesionales: **SI**, se hace servicio de polinización con *Apis mellifera*; **NO**, no se hacen servicios de polinización profesionales. **VET**: Valor Económico Total (millones de US\$ anuales). **VEP**: Valor Económico atribuido a la Polinización entomófila (millones de US\$ anuales).

Tabla II. Estimadores productivos para las diferentes categorías de dependencia a la polinización entomófila. Se denotan para cada categoría las métricas productivas y económicas promedio anuales en función de los cultivos incluidos.

	Categorías de dependencia #			
	Baja ^a	Moderada ^b	Alta ^c	Esencial ^d
Dependencia a la polinización promedio	0,06	0,26	0,66	0,95
Número de spp. cultivadas	8	6	10	3
Área cosechada (ha)	967.883	2.030.013	96.559	33.282
Ingreso promedio (US\$/ ha)	13.835	40.779	69.155	4.220
Aporte de la polinización en las ganancias (US\$/ha)	830	10.602,60	45.642	4.008,60
Valor económico de la producción total (millones US\$)	1.388	17.981,94	801,8	157,9
Valor económico atribuido a la polinización entomófila (millones US\$)	93,7	3.664,61	529,2	150

[#] según Klein et al., (2007) actualizadas en este trabajo. ^a Incluye maní, pimienta, limón, mandarino, naranjo, poroto, lino y cártamo. ^b Incluye frutilla, pomelo, colza, soja, girasol, algodón. ^c Incluye arándano, cerezo, ciruelo y endrino, durazno, manzano, pera, membrillo, mango, almendro y palto. ^d Incluye melón, sandía y cucurbitáceas.

polinización entomófila oscilaron entre el 10 al 40%, el VEP alcanzó los 3.664,61 millones de US\$ (Tabla II). El 95% de la superficie total implantada, considerando todas las especies y período analizado, estuvo destinada a la siembra de los cultivos industriales (Tabla III). Dentro de esta categoría, la soja ocupó el 90%, el girasol un 7,5%, el

algodón un 1,87% y porcentajes entre 0,07 y 0,19% del área fue destinada a lino, colza y cártamo respectivamente. La superficie promedio destinada a la soja fue de 18,3 millones de ha y representó el 86% del área total que ocuparon los 27 cultivos analizados (21,4 millones ha).

Tabla III. Cultivos clasificados según las categorías FAO 2019. Los números entre paréntesis indican el número de cultivos considerados para cada categoría. Los valores reportados para los estimadores económicos son obtenidos mediante el promedio entre los cultivos incluidos dentro de la categoría FAO.

Categoría FAO	DP	Área cosechada (ha)	Ingreso bruto promedio (US\$/ha)	VEP (US\$/ha)	VET (M US\$)	VEP (M US\$)	Productividad asociada a la polinización (Tn)	TV (%)
<i>Cítricos (4)</i>	0,12	126.395	3.123	42	378	24	45.841	13,6
<i>Frutales (9)</i>	0,66	96.169	10.496	7.163	801	529	159.462	68
<i>Frutos secos (2)</i>	0,35	391.129	1.301	334	667	34	26.123	26
<i>Hortalizas (6)</i>	0,55	436.895	7.068	2.643	529	195	89.334	38
<i>Industriales (6)</i>	0,18	2.0347.268	393	127	17.954	3.655	11.637.561	20,4

DP: dependencia promedio de la polinización expresada en valor de proporción. **VET:** valor económico total (millones de US\$ anuales), **VEP:** valor económico atribuido a la polinización entomófila (millones de US\$ anuales). **TV:** tasa de vulnerabilidad (porcentaje).

El mayor VET fue para los cultivos industriales y frutales con 17.954 y 801 millones de US\$ (Tabla III), pero la mayor contribución en términos económicos de los polinizadores ponderada por unidad de superficie, fue para los frutales y hortalizas, con valores de 7.163 y 2.643 US\$/ha., respectivamente.

En el caso de los frutos secos, la mayor contribución a la polinización entomófila fue para el almendro que alcanzó un 65% de la ganancia bruta por hectárea, equivalente a 6.346 US\$/ha. (Tabla III). La vulnerabilidad estimada fue elevada para frutales, almendro y hortalizas. En términos productivos, el aporte de la polinización para estos cultivos fue equivalente a un promedio anual de 255.141 toneladas de productos alimenticios. En relación a los cultivos industriales, la vulnerabilidad estimada del 20,4%, indica mermas anuales potenciales de 127 US\$/ha y 11,6 millones de Tn de productos (Tabla III).

La productividad total de los cultivos analizados, para el período estudiado, fue de 64,6 millones de Tn anuales de productos alimenticios, de los cuales la polinización contribuyó con 13,8 millones de Tn.

DISCUSIÓN

El valor económico total atribuido exclusivamente a la polinización para los principales cultivos de polinización entomófila de Argentina es de 4.438 millones de US\$. Esto evidencia la importancia de los polinizadores y en especial de las abejas melíferas, ya que es el principal polinizador gestionado. En términos comparativos, el VEP es ocho veces más alto que el atribuido a la producción de miel anual producido por la apicultura argentina, estimado en 186 millones de US\$ (FAOSTAT, 2019).

La evaluación del valor económico de la polinización, estaría subestimada debido a que se seleccionaron 27 cultivos, y estudios previos indican que al menos 37 cultivos implantados en el país dependen de manera directa de la polinización para incrementar su productividad (Chacoff et al., 2010). Si bien el VEP brinda una descripción detallada de la contribución de los polinizadores a la agricultura en el país, utilizando una metodología ya validada, tiene ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta. El índice de dependencia puede diferir entre variedades y regiones, en este trabajo nosotros utilizamos índices locales solo para cuatro cultivos y variedades utilizadas en Argentina. Si consideramos la superficie destinada a los cultivos que no dependen de la polinización entomófila (cereales, tubérculos, arroz, caña de azúcar, te, yerba mate, uva, aceituna, tabaco, etc.), los cuales ocupan 31,3 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2019), de acuerdo con nuestras estimaciones, el 41% de la superficie total sembrada en el país está ocupada por cultivos que dependen de los polinizadores.

Del total de alimentos producidos 13,84 millones de toneladas podrían ser atribuidas exclusivamente a la polinización entomófila. Además, los polinizadores contribuyen a la productividad de los cultivos que no se destinan a consumo humano, como lino y algodón, en los cuales la polinización entomófila contribuye con un 30% de la productividad total de ambos cultivos, equivalente a 197 mil toneladas. En el caso del lino, la contribución de los polinizadores es baja, registrando un 5% de incremento de rendimiento con polinización abierta. Para el cultivo de algodón, si bien las variedades utilizadas presentan autogamia, la polinización incrementa los rindes en un 25% (Klein et al., 2007). Estudios realizados en Brasil por Klein et al. (2020), mostraron que las cápsulas de algodón generadas a partir de flores con polinización cruzada eran 1,2 veces más pesadas que las cápsulas de algodón formadas por autopolinización pasiva, además, Sanda et al. (2013) han reportado incrementos en el rendimiento del 31,5 al 60,0% utilizando colmenas de abejas melíferas.

El 48% de los cultivos relevados en este trabajo, tienen total o alta dependencia de los polinizadores, con un VEP de 679 millones US\$. El VEP para los cultivos de moderada dependencia, es alto 3.664,61 millones de US\$ y puede explicarse porque esta categoría contempla a las oleaginosas. El poroto de soja, cuantificado dentro de esta categoría, ocupa grandes extensiones y es el de mayor importancia en términos económicos. Diferentes autores han reportado un aumento en la productividad de vainas y semillas de soja cuando son expuestas a polinización con abejas melíferas, registrándose incrementos del 18 al 20% comparados con exclusión de polinizadores (Giannini et al., 2015; Bletter et al., 2018; Zelaya et al., 2018). Este aumento en el rendimiento debido a la polinización entomófila equivale, en términos económicos, a 3.330 millones de US\$ anuales. En el caso de los cítricos, cuya

dependencia es baja, las abejas contribuyen con 183.362 toneladas anuales equivalentes al 6% de la producción total de cítricos, y en términos económicos, a 24 millones de US\$.

El VEP obtenido para los cultivos analizados, en orden decreciente de acuerdo con las categorías FAO es para cultivos industriales, frutales, hortalizas, frutos secos y cítricos. Estos resultados evidencian que aún en cultivos donde no se introducen polinizadores manejados para su polinización, como los cultivos industriales, la contribución sobre el rendimiento en términos globales atribuida exclusivamente a los polinizadores es alta. Este aporte a la polinización proviene de especies nativas o indirectamente de la apicultura. La vulnerabilidad estimada del 20,4% para esta categoría, significaría una merma potencial de aproximadamente 11,6 millones de toneladas, equivalente a 3.655 millones de US\$ anuales debida a una deficiente polinización. Dicha merma, afectará también a la cadena de valor, principalmente de soja ya que un 20% de la molienda del poroto se destina a la elaboración de aceite y se destina a biocombustible (MINAGRI, 2016). La elevada tasa de vulnerabilidad estimada, principalmente en frutales y hortalizas (del 68 y 38% respectivamente) implica que una disminución o ausencia de polinizadores, provocaría una marcada merma en la productividad y en la rentabilidad económica de estos cultivos. En este análisis, adquiere relevancia la crisis global de los polinizadores que son amenazados por la extensa deforestación (Gasparri et al., 2013) y las prácticas agrícolas que han provocado la disminución de los sitios de nidificación y de recursos florales disponibles para las abejas nativas y manejadas (Holden, 2006; Carvalho et al., 2012). Además, el uso de pesticidas en la agricultura tiene efectos adversos directos e indirectos sobre las abejas manejadas y silvestres provocando una disminución de la riqueza y abundancia de los polinizadores (Kovács-Hostyánszki et al., 2011; Van der Valk & Koomen, 2013).

Es importante considerar, que aun en los cultivos donde se rentan colmenas para polinizar, la presencia de polinizadores nativos beneficia la productividad y/o calidad de frutos (Imperatriz-Fonseca et al., 2006; Brittain et al., 2013; Garibaldi et al., 2013; Földesi et al., 2016; Cavigliasso et al., 2020). Estudios realizados en nuestro país en cultivos de arándano ubicados en las inmediaciones de Concordia, Entre Ríos, relevaron 19 especies de abejas nativas potencialmente polinizadoras (Lucía et al., 2014). Asimismo, se mostró que en los sistemas productivos diversificados hay mayor abundancia y riqueza de especies polinizadoras comparando con los sistemas de producción convencionales (Dainese et al., 2019). Del mismo modo, la polinización libre, con presencia de abejas melíferas manejadas y polinizadores nativos mejora algunos parámetros de la calidad de los frutos, como el número de semillas, la firmeza y contenido de sólidos solubles de los arándanos (Cavigliasso et al., 2020). Asimismo, en

manzanas, se ha demostrado una relación significativa entre la riqueza y abundancia de abejas silvestres presentes en los huertos y la polinización exitosa (Garrat et al., 2014; Földesi et al., 2016). En este sentido, es particularmente preocupante la pérdida de diversidad en los sistemas de producción de frutales del Alto Valle de Río Negro. Estudios realizados por Farina et al. (1996) en dicha región, mostraban una alta diversidad de especies potencialmente polinizadoras, en contraste, un trabajo reciente realizado en la misma zona reportó la ausencia de polinizadores silvestres en los huertos de producción de manzanas y peras (Geslin et al., 2017).

Si bien, en los sistemas de alta dependencia se utilizan abejas manejadas para lograr un adecuado servicio de polinización, éstas también están siendo amenazadas. Existe una creciente preocupación por las pérdidas de colmenas de abejas melíferas, las mismas fueron estimadas entre un 31,5 al 38,0% en el periodo 2016-2018 para Argentina (SOLATINA, 2021) y de un 33% para abejas nativas sin aguijón (Requier et al., 2020). Como se mencionó anteriormente, la agricultura convencional es la principal causa de estas pérdidas (Mullin et al., 2010). Esta situación podría llevar a déficits de polinización (Allen-Wardell et al., 1998) afectando las ganancias de los agricultores, principalmente en los cultivos de alta vulnerabilidad como los frutales y hortalizas, al mismo tiempo que se atenta con la biodiversidad de polinizadores silvestres. Se estima que en la Argentina la cantidad de agroquímicos aplicados por hectárea aumentó sistemáticamente en la última década, alcanzando los 525 millones kg/l anuales (Aranda, 2020), valor que evidencia la amenaza de esta práctica tanto para los polinizadores en general como para el resto de los organismos presentes en estos sistemas.

Es preocupante la disminución de la diversidad de cultivos en nuestro país provocada por la expansión de la soja como monocultivo, la cual según nuestras estimaciones representa al menos un 35% de la superficie total destinada a la agricultura. Trabajos previos mostraron la disminución de la diversidad de cultivos a nivel global (Aizen et al., 2019) enfatizando que aún muchos de los cultivos que tuvieron una rápida expansión, como la soja, son dependientes de los polinizadores (Aizen & Harder, 2009). Frente a este escenario es imprescindible coordinar acciones tendientes a promover prácticas de intensificación ecológica, como la generación de corredores biológicos e instalación de sitios artificiales para nidificación de abejas y otros polinizadores.

Este trabajo evidencia la contribución económica de los polinizadores a la agricultura del país, muestra la alta vulnerabilidad de los agroecosistemas y los efectos en términos cuantitativos de una potencial reducción en la producción de alimentos debida a un déficit de polinización. Esta tendencia afectaría el ingreso de divisas por exportación tanto en la producción primaria como en las manufacturas de origen agropecuario, dado que, del total de alimentos producidos, el 40% se destina a la

exportación (MINAGRI, 2016). La información obtenida puede ser puede resultar útil para orientar la toma de decisiones y establecer políticas públicas tendientes a promover la diversificación y sustentabilidad de los modelos agrícolas para garantizar la seguridad alimentaria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los revisores anónimos por sus valiosos comentarios y sugerencias que contribuyeron a mejorar el manuscrito. También agradecen al grupo de trabajo de Polinización de la Sociedad Latinoamericana de Investigación en abejas-SOLATINA. Financiamiento parcial de SECAT-Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, de INTA, Estación Experimental Agropecuaria Concordia.

LITERATURA CITADA

- Aizen, M.A., & Harder, L.D. (2009) The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current Biology*, **19**, 1-4.
- Aizen, M.A., Aguiar, S., Biesmeijer, J.C., Garibaldi, L.A., Inouye, D.E., Jung, C., Martins, D., Mede, R., Morales, C.L., Ngo, H., Pauw, A., Sáez, A., & Seymour, C.L. (2019) Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. *Global change biology*, **25**(10), 3516-3527.
- Allen-Wardell, G., Bernhardt, P., Bitner, R., Burquez, A., Buchmann, S., Cane, J., & Walker, S. (1998) The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation biology*, **12**(1), 8-17. DOI: 10.1111/gcb.14736
- Aranda, D. (2020) Atlas del agronegocio transgénico en el Cono Sur: monocultivos, resistencias y propuestas de los pueblos. Acción por la Biodiversidad. Argentina [CD].
- Barragán, S., Basualdo, M., & Rodríguez, E. M. (2022) Conversion of protein from supplements into protein of hemolymph and fat bodies in worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Apicultural Research*, **54**(4), 399-404. <http://dx.doi.org/10.1080/00218839.2016.1158534>
- Basualdo M. (2006) Importancia de la polinización con abejas. *Gestión Apícola*, **2**, 12-16.
- Basualdo, M., & Bedascarrasbure, E. (2003) Rol de las abejas en la Polinización de cultivos. IDIA **XXI**, **5**, 18-22.
- Basualdo, M., Antúnez, K., & Requier, F. (2019) Current status of bee pollinators in Latin America. Apimondia Newsletter. N°12, pp: 24-31.
- Basualdo, M., Barragán, S., & Antúnez, K. (2014) Bee bread increases honeybee haemolymph protein and promote better survival despite of causing higher *Nosema ceranae* abundance in honey bees. *Environmental Microbiology Reports*, **6**, 396-400. doi:10.1111/1758-2229.12169
- Basualdo, M., Messina, N., Rodríguez, E.M. & Rivadeneira, M.F. (2013) *Bombus atratus*

- (Hymenoptera: Apidae) como polinizador de arándanos (*Vaccinium corymbosum* L.). *Horticultura Argentina*, **32**(79) 127.
- Blacquiere, T., Smagghe, G., van Gestel, C.A.M., & Mommaerts, V. (2012) Neonicotinoids in bees: a review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology*, **21**, 973–992. DOI 10.1007/s10646-012-0863-x
- Blettler, D.C., Fagúndez, G.A., & Caviglia O.P. (2018) Contribution of honeybees to soybean yield. *Apidologie*, **49**, 101-111. DOI: 10.1007/s13592-017-0532-4
- Brittain, C., Williams, N., Kremen, C., & Klein, A.M. (2013) Synergistic effects of non-*Apis* bees and honey bees for pollination services. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, **280**, 20122767. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2767>
- Carvalho, S., Roat, T.;Pereira A.M., Silva-Zacarin, E., Nocelli R.C.F., Carvalho, C., & Malaspina O. (2012) Losses of Brazilian bees: an overview of factors that may affect these pollinators. En: *11 International Symposium of the ICP BR Bee protection group*, 2011, Wageningen, The Netherlands. pp. 159-166.
- Cavigliasso, P., Bello, F., Rivadeneira, M.F., Monzón, N.O., Gennari, G.P., & Basualdo, M. (2020) Pollination Efficiency of Managed Bee Species (*Apis mellifera* and *Bombus pauloensis*) in Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) Productivity. *Journal of Horticultural Research*, **28**(1) 57-64. DOI: 10.2478/johr-2020-0003.
- Chacoff, N.P., & Aizen, M.A. (2006) Edge effects on flower visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal Applied Ecology*, **43**, 18–27. doi:10.1111/j.1365-2664.2005.01116.x).
- Chacoff, N.P., Morales, C.L., Garibaldi, L.A., Ashworth, L., & Aizen, M.A. (2010) Pollinator Dependence of Argentinean Agriculture: Current Status and Temporal Analysis. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, **3**(1), 106-116
- Dainese, M., Martin, E. A., Aizen, M. A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., & Steffan-Dewenter, I. (2019) A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science advances*, **5** (10), eaax0121.
- FAOSTAT-Statistics (2019) *Production database from the Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> and <http://www.fao.org/faostat/es/#data/TA>.
- Farina, J., Sanahuja, A., Basualdo, M., Del hoyo, M., & Bedascarrasbure, E. (1996) *Entomofauna polinizadora de frutales en el Alto Valle de Río Negro*. Informe técnico. Convenio UNICEN-Gobierno de Río Negro. Tandil, Argentina, pp. 30.
- Földesi, R., Kovács-Hostyánszki, A., Kőrösi, Á., Somay, L., Elek, Z., Markó, V., Sároszpataki, M., Bakos, R., Varga, Á., Nyisztor, K., & Báldi, A., (2016) Relationships between wild bees, hoverflies and pollination success in apple orchards with different landscape contexts. *Agricultural and Forest Entomology*, **18**, 68–75.
- Gallai, N., Salles, J.M., Setteled, J., & Vaissière, B.E. (2009) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, **68**, 810-821.
- Garibaldi, L.A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeb, B.E., Cunningham, S.A., & Breeze, T.D. (2017). Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends Evolutionary Ecology*, **32**, 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.001>
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A. & Bartomeus, I. (2013) Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, **339** (6127), 1608-1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- Garratt, M.P.D., Breeze, T.D., Jenner, N., Polce, C., Biesmeijer, J.C., & Potts, S.G. (2014) Avoiding a bad apple: Insect pollination enhances fruit quality and economic value. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **184**, 34–40. DOI: 10.1016/j.agee.2013.10.032
- Gasparri, N.I. & Grau, H.R. (2009) Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1972–2007). *Forest Ecology and Management*, **258**, 913-921.
- Gasparri, N.I., Grau, H.R., & Gutiérrez-Angonese, J. (2013) Linkages between soybean and neotropical deforestation: Coupling and transient decoupling dynamics in a multi-decadal analysis. *Global Environmental Change*, **23**, 1605–1614. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.09.007>
- Gatica Hernández, I, Soto, C., Basualdo, M., & Galmarini, C.R. (2017) Evaluación de la efectividad de *Apis mellifera* y *Bombus pauloensis* como polinizadores para la producción de semilla híbrida de cebolla (*Allium cepa* L.). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, **52**, 55-56.
- Geslin, B., Aizen, M.A., Garcia N., Pereira A.J., Vaissière B.E., & Garibaldi L.A. (2017) The impact of honey bee colony quality on crop yield and farmers' profit in apples and pears. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **248**, 153-161. doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.035
- Giannini, T.C., Cordeiro, G.D., Freitas, B.M., Saraiva, A.M., & Imperatriz-Fonseca, V.L. (2015) The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. *Journal Economic Entomology*, **108**(3), 1-9 DOI: 10.1093/jee/tov093
- Hoc, P.S., & Amela García, M.T. (1999) Biología floral y sistema reproductivo de *Phaseolus vulgaris* var. aborigineus (Fabaceae). *Revista de biología tropical*, **47**(1-2), 59-67.
- Holden, C. (2006) Report warns of looming pollination crisis in North America. *Science*, **314**, 397.
- Imperatriz-Fonseca, V.L., Saraiva, A.M., & De Jong, D. (2006) *Bees as pollinators in Brazil: assessing the status and suggesting best practices*. Ribeirão Preto, Sao Paulo, Brazil.
- Klein, A.M., Freitas, B.M., Bomfin, I.G.A., Boreux, V., Fornoff, F., & Oliveira, M.O. (2020) *Insect Pollination of crops in Brazil: A Guide for Farmers, Gardeners, Politicians, and Conservationist*. Scribus. Baden-Wurtemberg. Germany.
- Klein, A.M., Vaissiere, B., Cane, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S., 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
- Kovács-Hostyánszki, A., Bátyary P., & Baldi, A. (2011) Local and landscape effects on bee communities of Hungarian winter cereals fields. *Agricultural and Forest Entomology*, **13**, 59-66.
- Lucia, M., Álvarez L.J., Gennari G.P, Ramello P.J., & Basualdo M. (2014) Abejas nativas presentes en cultivos de arándano en la provincia de Entre Ríos. En: *Actas de XI Congreso Latinoamericano de Apicultura*, 2014, Misiones. pp.119.
- Mesejo, C., Yuste, R., Martínez-Fuentes, A., Reig, C., Iglesias, D. J., Primo-Millo, E., & Agustí, M. (2013). Self-pollination and parthenocarpic ability in developing ovaries of self-incompatible Clementine mandarins (*Citrus clementina*). *Physiologia plantarum*, **148**(1), 87-96. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01697.x>
- MINAGRI (2016) *Alimentos Argentinos*. Agroindustria, motor del Desarrollo. Mayo 2016, 69-84.
- MINAGRI (2019) Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Gobierno de la Nación Argentina. <https://www.magyp.gob.ar/datosabiertos/> (Ultimo acceso diciembre 2019).
- Montalt, R., Vives, M. C., Navarro, L., Ollitrault, P., & Aleza, P. (2021). Parthenocarpy and self-incompatibility in mandarins. *Agronomy*, **11**(10), 2023. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102023>
- Mullin, C.A, Frazier, M., Frazier, J.L., Ashcraft, S., Simonds, R., van Engelsdorp, D., & Pettis, J.S. (2010) High Levels of Miticides and Agrochemicals in North American Apiaries: Implications for Honey Bee Health. *PLoS ONE*, **5**(3), e9754. doi:10.1371/journal.pone.0009754
- Reboratti, C. (2006). La Argentina Rural entre la modernidad y la exclusión. (ed. Geraiges de Lemos, A.I., Arroyo, M., & Silveira, M.L.), pp. 175-187. América Latina, cidade, campo e turismo. San Pablo. Brazil.
- Requier, F., Antúnez, K., Morales, C.L., Aldea-Sánchez, P., Castilhos, D., Garrido, M., Giacobino, A., Reynaldi, F.J., Rosso-Londoño, J.M., Santos, E., et al. (2020) Distribución espacial y factores implicados en las pérdidas de colmenas en América Latina durante 2016-2018. Grupo de trabajo Monitoreo de pérdidas de colmenas. III Workshop de SOLATINA, virtual. [CD].
- Sanda, M, Fernand-Nestor, T.F., & Brückner D. (2013) Foraging and Pollination Behaviour of *Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera, Apidae) on *Gossypium hirsutum* (Malvaceae) Flowers at Dang (Ngaoundéré, Cameroon). *Journal of Agricultural Science and Technology A*, **3**,267-280.
- SOLATINA (2021) Monitoreo de pérdidas de colmenas. <https://solatina.org/temas-de-estudio/monitoreo/>. Ultimo acceso diciembre 2022.
- Stanley, D.A., Gunning, D., & Stout, J.C. (2013) Pollinators and pollination of oilseed rape crops (*Brassica napus* L.) in Ireland: ecological and economic incentives for pollinator conservation. *Journal Insect Conservation*, **17**, 1181-1189. DOI 10.1007/s10841-013-9599-z
- Van der Valk, H., & Koomen I. (2013) *Aspect determining the risk of pesticides to wild bees: Risk profiles for focal crops on three continents*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- Vardi, A., Levin, I., & Carmi, N. (2008). Induction of seedlessness in citrus: from classical techniques to emerging biotechnological approaches. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **133**(1), 117-126. <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.1.117>
- Vázquez, D.E., Latorre-Estivalis, J.M., Ons, S., & Farina, W.M. (2020) Chronic exposure to glyphosate induces transcriptional changes in honey bee larva: toxicogenomic study. *Environmental Pollution*, **261**, 114148.
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D., LeBun, G., & Aizen, M.A. (2009) A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, **90**(8), 2068–2076.
- Zelaya, P.V., Chacoff, N.P., Aragón, R., & Blendinger, P.G. (2018) Soybean biotic pollination and its relationship to linear forest fragments of subtropical dry Chaco. *Basic and Applied Ecology*, **32**, 86-95.