

Contribución de la polinización a la agricultura mexicana: un costo escondido del uso de insecticidas

Rémy Vandame
El Colegio de la Frontera Sur
29230 San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México
(967) 674 90 22 - remy@ecosur.mx

***Versión ampliada del texto publicado en las memorias del
26° Congreso Internacional de Actualización Apícola
22 al 24 de mayo 2019, Chihuahua, México***

En el marco general del declive de los polinizadores y de los riesgos que se generan para la reproducción de las plantas y la producción agrícola, cabe preguntarse cuál es la situación al respecto en México.

Por ello, veremos en primer lugar cual es la contribución económica de los polinizadores a la agricultura mexicana. En segundo lugar, analizaremos el papel que ocupan los plaguicidas como factor de declive de los polinizadores, y como finalmente la afectación a la agricultura representa un costo indirecto elevado del uso de plaguicidas.

1. Polinización

En 2016 se publicó la primera “evaluación temática sobre polinizadores, polinización y producción de alimentos”, redactada en el marco de la Plataforma Intergubernamental sobre la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (IPBES), la cual depende de la Organización de Naciones Unidas (ONU).

Esta evaluación establece que la polinización animal desempeña un papel vital como un servicio de ecosistema regulador en la naturaleza. A nivel mundial, casi el 90 por ciento de las especies de plantas con flores silvestres dependen, al menos en parte, de la transferencia de polen por parte de los animales. Estas plantas son fundamentales para el funcionamiento continuo de los ecosistemas, ya que proporcionan alimentos, forman hábitats, y proporcionan otros recursos para una amplia gama de otras especies.

La polinización es el acto de transferir los granos de polen de la antera masculina de una flor al estigma femenino de esta misma o de otra flor. Esto permite la producción de semillas, lo cual asegurar la reproducción de las plantas. Durante este proceso, las flores deben depender de vectores para transferir el polen, los cuales pueden incluir viento, agua, aves, insectos, mariposas, murciélagos y otros animales que visitan las flores. Se llaman "polinizadores" a los animales o insectos que transfieren el polen de una planta a otra.

La evaluación del IPBES muestra una actualización del trabajo anterior de Lautenbach et al. 2012, que consiste en calcular, a nivel mundial, que parte del valor de la producción agrícola se debe a los polinizadores. Muestra que más de tres cuartas partes de los principales tipos de cultivos alimentarios mundiales dependen en cierta medida de la polinización animal para obtener rendimiento y / o calidad. Los cultivos dependientes de los polinizadores contribuyen al 35 por ciento del volumen de la producción mundial de cultivos. Dado que los cultivos dependientes de los polinizadores dependen de la polinización animal en diversos grados, se estima que del 5 al 8% de la producción mundial actual de cultivos, con un valor de mercado anual de \$ 235 a 577 mil millones

de dólares, en todo el mundo, es directamente atribuible a la polinización animal. Sin embargo, la importancia de la polinización animal varía sustancialmente entre los cultivos y, por lo tanto, entre las economías de cultivos regionales. Muchos de los cultivos comerciales más importantes del mundo se benefician de la polinización animal en términos de rendimiento y/o calidad y son productos de exportación líderes en países en desarrollo (por ejemplo, café y cacao) y países desarrollados (por ejemplo, almendras), que proporcionan empleo e ingresos a millones de personas.

2. El servicio ambiental de polinización en México

Determinamos el valor económico del aporte de los polinizadores a la agricultura mexicana, siguiendo la metodología de Lautenbach et al. (2012) y su actualización en la evaluación del IPBES (2016). Cada cultivo se asocia con el grado de dependencia a los polinizadores determinado por Klein et al. (2007), el cual puede cuantificarse (ninguna: 0%; baja: 0 a 10%; moderada: 10 a 40%; alta: 40 a 90%; esencial: 90 a 100%). Para obtener el valor del servicio de polinización por cultivo, se multiplica el valor de producción nacional considerado por el SIAP (2017) por el grado de dependencia a los polinizadores (llamado “vulnerabilidad” por Lautenbach et al. 2012).

Nuestros resultados preliminares abarcan 61 cultivos alimenticios de los 314 cultivos enlistados por el SIAP; lo demás cultivos no se incluyen en esta etapa, por no disponer de información sobre su nivel de dependencia a los polinizadores en Klein et al. (2007) (ej. chayote), o por no ser de consumo humano (ej. forrajes y semillas). Estos 61 cultivos representan 70.5% del valor de la producción nacional

El principal resultado es que 11.6 a 26.8% del valor de la producción agrícola nacional es directamente atribuible a la polinización animal, con un valor mediano de 19.2%. Se trata de una proporción mucho mayor a la situación mundial, estimado a 5 a 8% del valor de la producción agrícola (IPBES 2016). La diferencia se debe al hecho de considerar los cultivos alimenticios en nuestro estudio, pero también y sobre todo, a la predominancia de cultivos como el aguacate, la zarzamora o el mango, cuya productividad presenta una alta dependencia a la polinización animal.

Tabla 1: valor de la producción y del servicio ambiental de polinización para 67 cultivos alimenticios (en millones de pesos mexicanos).

Cultivo	Valor de producción nacional	Dependencia a los polinizadores	Valor de polinización		
			bajo	mediano	alto
Aguacate	39,706	alta	15,882	25,809	35,735
Zarzamora	10,558	alta	4,223	6,863	9,502
Mango	7,434	alta	2,974	4,832	6,691
Sandía	4,615	esencial	4,154	4,385	4,615
Manzana	6,231	alta	2,492	4,050	5,608
Pepino	5,502	alta	2,201	3,577	4,952
Fresa	12,642	moderada	1,264	3,161	5,057
Algodón hueso	12,366	moderada	1,237	3,091	4,946
Calabacita	3,244	esencial	2,920	3,082	3,244
Frambuesa	4,496	alta	1,799	2,923	4,047
Melón	2,947	esencial	2,653	2,800	2,947
Chile verde	29,125	baja	0	1,456	2,913
Arándano	2,150	alta	860	1,398	1,935
Tomate rojo (jitomate)	25,483	baja	0	1,274	2,548
Café cereza	4,906	moderada	491	1,226	1,962
Calabaza	1,227	esencial	1,105	1,166	1,227
Cacao	1,074	esencial	967	1,021	1,074
Durazno	1,341	alta	536	872	1,207

Frijol	16,376	baja	0	819	1,638
Calabaza semilla o chihua	797	esencial	718	757	797
Limón	12,625	baja	0	631	1,263
Cilantro	714	alta	286	464	643
Nopalitos	1,742	moderada	174	436	697
Naranja	8,622	baja	0	431	862
Guayaba	1,617	moderada	162	404	647
Tuna	1,474	moderada	147	368	590
Berenjena	1,386	moderada	139	346	554
Ciruela	440	alta	176	286	396
Papaya	4,948	baja	0	247	495
Ajonjolí	882	moderada	88	221	353
Col (repollo)	583	moderada	58	146	233
Coliflor	479	moderada	48	120	192
Coco fruta	454	moderada	45	113	182
Haba grano	407	moderada	41	102	163
Haba verde	399	moderada	40	100	160
Pera	128	alta	51	83	115
Palma africana o de aceite	1,323	baja	0	66	132
Cacahuete	1,229	baja	0	61	123
Fresa (planta)	240	moderada	24	60	96
Toronja (pomelo)	1,151	baja	0	58	115
Mandarina	681	baja	0	34	68
Tangerina	532	baja	0	27	53
Cártamo	394	baja	0	20	39
Litchi	322	baja	0	16	32
Tamarindo	301	baja	0	15	30
Girasol	49	moderada	5	12	19
Rambután	123	baja	0	6	12
Nabo	6	alta	2	4	5
Canola	8	moderada	1	2	3
Aceituna	140	ninguna	0	0	0
Arroz palay	1,094	ninguna	0	0	0
Caña de azúcar	38,412	ninguna	0	0	0
Chícharo	520	ninguna	0	0	0
Ejote	689	ninguna	0	0	0
Elote	2,342	ninguna	0	0	0
Garbanzo grano	3,394	ninguna	0	0	0
Maíz grano	100,206	ninguna	0	0	0
Papa	11,273	ninguna	0	0	0
Pimienta	116	ninguna	0	0	0
Trigo grano	13,289	ninguna	0	0	0
Uva	7,280	ninguna	0	0	0
Valor total	414,240		47,961	79,441	110,920
Valor relativo			11.6%	19.2%	26.8%

3. Factores del declive de los polinizadores

En los últimos años, una iniciativa internacional de la cual México es parte, empezó a generar elementos importantes para el debate en torno al declive de las abejas. Se trata de la Plataforma Intergubernamental sobre la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos (IPBES), la cual depende de la Organización de Naciones Unidas (ONU), y ha encargado una evaluación temática sobre los polinizadores y los servicios de polinización (<http://www.ipbes.net/index.php/3-a-pollinators-and-pollination>), la cual fue redactada por expertos de todos los países, incluyendo al autor del presente capítulo. Actualmente solo esta disponible el resumen para tomadores de decisión (<http://www.ipbes.net/publication/thematic-assessment-pollinators-pollination-and-food-production>).

Después de evaluar la situación de los polinizadores en el mundo, una parte medular de este trabajo se enfoca a analizar los factores del declive. Al respecto, el informe menciona que *“la abundancia, diversidad y salud de los polinizadores y la provisión de polinización se ven amenazadas por factores impulsores directos que generan riesgos para las sociedades y los ecosistemas. Entre las amenazas figuran el cambio en el uso de la tierra, la gestión intensiva de la agricultura y del uso de los plaguicidas, la contaminación ambiental, las especies exóticas invasoras, los patógenos y el cambio climático.”*

En cuanto al papel de los plaguicidas, establece que *“el riesgo que los plaguicidas causan a los polinizadores se deriva de una combinación de la toxicidad y el nivel de exposición, el cual varía geográficamente según los compuestos empleados, y la escala de la gestión de la tierra y el hábitat en el paisaje. Se ha demostrado que los plaguicidas, especialmente los insecticidas, tienen una amplia variedad de efectos letales y subletales en los polinizadores en condiciones experimentales controladas.”*

Entre otros elementos, menciona que *“las investigaciones recientes sobre insecticidas neonicotinoides dan cuenta de los efectos letales y subletales que estos producen en algunas abejas, así como algunos indicios de efectos en la polinización. Ello se demuestra en un estudio realizado recientemente, en el que se ponen de manifiesto las repercusiones de los neonicotinoides para la supervivencia y la reproducción de los polinizadores silvestres en una exposición a nivel real.”*

Sin embargo, reconoce que *“las pruebas que arrojan este y otros estudios de los efectos en las colonias de abejas de miel gestionadas son contradictorias.”*

El documento también incluye recomendaciones. Por ejemplo, establece que *“varias características de las actuales prácticas agrícolas intensivas amenazan a los polinizadores y la polinización. La transición hacia una agricultura más sostenible y la reversión de la simplificación de paisajes agrícolas ofrecen respuestas estratégicas fundamentales a los riesgos vinculados con la disminución de los polinizadores.”*

En el aspecto de los plaguicidas, menciona que “la exposición de los polinizadores a los plaguicidas puede disminuirse reduciendo su uso, procurando formas alternativas de control de las plagas y adoptando una variedad de prácticas de aplicación específicas, entre las que figuran tecnologías para reducir la dispersión de los plaguicidas. Entre las medidas para reducir el uso de plaguicidas, cabe mencionar la promoción de la gestión integrada de las plagas, complementada por la educación de los agricultores, la agricultura orgánica y las políticas para reducir el uso a nivel mundial.”

4. Los insecticidas como factor de declive

Los insecticidas han sido diseñados para matar insectos, y las abejas son insectos, por lo que es legítimo evaluar el papel de los plaguicidas en general, y de los insecticidas en particular, en la mortalidad de las abejas. Es aún más legítimo considerando las quejas recurrentes de los apicultores, quienes señalan intoxicaciones, las cuales se caracterizan por fenómenos de despoblamiento repentino de las colmenas. Esto se llama toxicidad aguda (una sola exposición) generando mortalidad en tiempo breve. Si bien ocurren tales fenómenos, no son los eventos más comunes de intoxicaciones. De manera más habitual, éstas ocurren a nivel crónico, es decir por exposición repetida, a dosis que no necesariamente ocasionan la muerte de las abejas, pero sí afectan su condición y su actividad, redundando en un debilitamiento de las colmenas, y quizás a mediano plazo, en su muerte. Tales fenómenos son obviamente mucho más difíciles de detectar, analizar y demostrar.

En este marco, desde la década de los 70's, un número creciente de estudios se han centrado en los efectos subletales de los plaguicidas sobre polinizadores, éstos son eventos tóxicos importantes, pero no letales. (Desneux et al. 2007). Un estudio pionero de Schricker y Stephen (1970) mostró que cuando las abejas eran expuestas a una dosis subletal de paratión, un insecticida organofosforado, éstas eran incapaces de comunicar la dirección de una fuente de alimento a otras abejas. Diversos estudios han demostrado los efectos nocivos de nuevas clases de insecticidas, por ejemplo, los piretroides (Vandame et al. 1995) y los neonicotinoides (Henry et al. 2012), los cuales se han asociado con alteraciones en la navegación de las abejas y su orientación a los alimentos, recursos y ubicación de colonias, resultando en la pérdida de éstas.

Los daños subletales que se ha estudiado se pueden clasificar en efectos a nivel individual (fisiología y comportamiento) y a nivel de colonias. En la tabla 1, se muestran diversos ejemplos de cada efecto detectado.

	Especie	Compuesto	Efecto	Referencia
1. Fisiología				
Neurofisiología	<i>Am</i>	Op-fenitrotión Py-cipermetrina	Inhibición enzimática	(Bendahou et al. 1999)
Inmunidad	<i>Am</i>	Nn-clotianidina	Inmunidad reducida, replicación de patógenos virales aumentada.	(Di Prisco et al. 2013)
Termorregulación	<i>Am</i>	Az-prochloraz Az-difenoconazol Py-deltametrina	Hipotermia (por separado y en sinergia)	(Vandame & Belzunces 1998)
Reproducción	<i>Ac, Am</i>	Bz-diflubenzurón Bz-penflurón	Producción de cría reducida	(Chandel & Gupta 1992)
	<i>Bt</i>	Nn-imidacloprida	Producción de cría reducida	(Tasei et al. 2000)
	<i>Ob</i>	Nn-thiametoxam Nn-clotianidina	Producción de descendientes reducida, sex-ratio desviada a producción de machos	(Sandrock, L. G. Tanadini, et al. 2014)
Longevidad	<i>Am</i>	Py-deltametrina Nn-imidacloprid	Longevidad reducida en adultos	(Dechaume et al. 2003)
	<i>Bt</i>	Nn-thiametoxam Nn-clotianidina	Producción de obreras limitadas, longevidad de obreras reducida	(Fauser-Misslin et al. 2014)
Fecundidad	<i>Mr</i>	Py-deltametrina	Postura de huevos reducida	(Tasei et al. 1988)
2. Comportamiento				
Alimentación	<i>Bt</i>	Py-deltametrina	Estimulación de alimentación reducida	(Tasei 1994)
Movilidad	<i>Am</i>	Py-permetrina	Auto-limpieza aumentada, cuerpo temblando, menor movimiento y alimentación de la cría	(Cox & Wilson 1984)
	<i>Mq</i>	Nn-imidacloprid	Desarrollo cerebral afectado, movimientos reducidos	(Tomé et al. 2012)
	<i>Am</i>	Nn-thiametoxam Nn-imidacloprida Nn-clotianidina	Pérdida de control de la postura corporal, impedimento para enderezar el cuerpo	(Williamson et al. 2014)

Aprendizaje	<i>Am</i>	Az-prochloraz Py-deltametrina Oc-endosulfan Nn-fipronil	Habilidades olfativas reducidas, memoria y habilidades cerebrales reducidas	(Decourtye et al. 2004; Decourtye et al. 2005)
	<i>Am</i>	Nn-imidacloprida	Comportamiento asociativo olfativo afectado	(Yang et al. 2012)
	<i>Am</i>	Op-coumafos Nn-imidacloprida	Comportamiento de extensión del proboscis afectado	(Williamson & Wright 2013)
	<i>Bt</i>	Nn-imidacloprida	Afectación crónica del comportamiento	(Gill & Raine 2014)
	<i>Am</i>	Ph-glifosato	Sensibilidad reducida a los azúcares y habilidades de aprendizaje reducidas	(Herbert et al. 2014)*
Navegación	<i>Am</i>	Py-deltametrina	Fracaso en regresar a la colmena	(Vandame et al. 1995)
	<i>Am</i>	Nn-imidacloprida	Fracaso en regresar a la colmena	(Bortolotti et al. 2003)
	<i>Am</i>	Nn-tiametoxam	Fracaso en regresar a la colmena	(Henry et al. 2012)
Comunicación	<i>Am</i>	Op-paratión	Incorrecta comunicación de informaciones durante la danza	(Schricker & Stephen 1970)
Defensa	<i>Ac</i>	Nn-imidacloprida	Escape de depredadores limitado	(Tan et al. 2014)
3. Colonia				
Pecoreo	<i>Bt</i>	Nn-imidacloprida	Pecoreo de polen limitado	(Feltham et al. 2014)
	<i>Am</i>	Nn-fipronil Nn-imidacloprida	Taza reducida de abejas activas/total, pecoreo reducido	(Colin et al. 2004)
Desarrollo de las colonias	<i>Bt</i>	Nn-imidacloprida	Tasa e crecimiento limitada, producción de reinas reducida	(Whitehorn et al. 2012)
	<i>Bt</i>	Py-cialotrina Nn-imidacloprida	Mortalidad de obreras aumentada, desarrollo de cría limitado	(Gill et al. 2012)
	<i>Am</i>	Nn-thiametoxam Nn-clotianidina	Número de abejas reducido, fallas de postura de reinas, reducida tendencia a enjambrar	(Sandrock, M. Tanadini, et al. 2014)
	<i>Bt</i>	Nn-imidacloprida	Tasa de nacimiento reducida, fracasos de las colmenas	(Bryden et al. 2013)

Tabla 1. Lista no exhaustiva de los efectos subletales de diferentes clases de insecticidas y acaricidas (*Bz*: benzamidas; *Oc*: organoclorados; *Nn*: neonicotinoides; *Op*: organofosforados; *Py*: piretroides), fungicidas (*Az*: azoles) y herbicidas (*Ph*: Phosphonoglycines), a nivel individual (fisiología y comportamiento) y de colonias, para diversas especies de abejas (*Ac*: *Apis cerana*; *Am*: *Apis mellifera*; *Bt*: *Bombus terrestris*; *Mq*: *Melipona quadrifasciata*; *Mr*: *Megachile rotundata*; *Ob*: *Osmia bicornis*). Las referencias para cada caso están en las síntesis siguientes: Thompson 2003; Desneux et al 2007; Belzunces et al 2012; Sluijs et al 2013; Godfray et al 2014; Pisa et al 2014.

Como se muestra en la tabla 1, existe una amplia variedad de efectos subletales, incluidos los efectos fisiológicos y sobre el comportamiento individual, así como efectos a nivel colonia. La mayoría de éstos se han demostrado con la abeja *Apis mellifera*, y con insecticidas del tipo neonicotinoides. A pesar de esta investigación, importantes lagunas de conocimiento permanecen; por ejemplo: 1) la mayoría de los estudios se han llevado a cabo con las abejas, unos pocos con el abejorro, *Bombus terrestris*, y menos aún con otras especies de abejas sociales o solitarias (Sandrock et al 2014b); en

consecuencia, los efectos reales en las comunidades de polinizadores son aún desconocidos; 2) la mayoría de las investigaciones se han realizado con los insecticidas, particularmente de la clase de los neonicotinoides; por lo tanto, poco se sabe de los efectos subletales de otros compuestos como los herbicidas y fungicidas; 3) se ha estudiado poco la interacción entre los plaguicidas en dosis subletales y otros factores que también son causantes de problemas para los polinizadores, tales como la intensificación del uso de la tierra, cambio climático, especies exóticas, plagas y patógenos entre otros.

La visión general dada en la tabla 1 plantea una pregunta importante: ¿Cuál es el papel actual de estos numerosos efectos subletales en cuanto a la disminución en el número de abejas en todo el mundo? Varias síntesis se han realizado al respecto, pero a pesar de superponerse con respecto a los artículos que citan, sus conclusiones son muy variadas. Existe un consenso claro sobre el hecho de que tanto las abejas silvestres como las manejadas, están expuestas a los plaguicidas (principalmente a través de néctar y polen, en el caso de los neonicotinoides), y que la gama de efectos subletales es bastante amplia. Hay evidencia significativa sobre los impactos altamente negativos de los efectos subletales, en condiciones controladas de laboratorio. Sin embargo, la incertidumbre sigue siendo significativa en torno a los efectos reales de los plaguicidas en condiciones de campo, un vacío de conocimiento que está atrayendo el interés de diferentes estudios recientes. Por ejemplo, Goulson (2015), analizando los datos de un estudio de los impactos de la exposición de las colonias de abejorros a los neonicotinoides, muestra una relación negativa entre el crecimiento de la colonia, la producción de reinas y los niveles de los neonicotinoides, en los alimentos recolectados por las abejas.

Algunos otros temas son motivos de desacuerdo, en particular, sobre la dosis a la que las abejas están efectivamente expuestas en el campo, o los efectos del contexto ambiental y del manejo de los cultivos (Sluijs et al 2013; Carreck y Ratnieks 2014). Además, los efectos crónicos y sinérgicos han sido ampliamente subestimados.

5. Conclusión

En el análisis preliminar que compartimos aquí, mostramos que la agricultura mexicana depende en una proporción mucho mayor al promedio de la agricultura mundial de la polinización animal. Esto se debe a la predominancia de cultivos de gran importancia económica, como el aguacate, la zarzamora y el mango, cuya dependencia a la polinización es muy significativa.

Por otra parte, resumimos los hallazgos del IPBES, según los cuales existen varios factores relaciones al declive de los polinizadores, a nivel mundial, en particular el cambio de uso del suelo y los plaguicidas, ambos explicados en gran parte por las prácticas agrícolas. Respecto al uso de plaguicidas en particular, cuyo efecto sobre los polinizadores es directo, cabe considerar que su uso implica pérdidas directas en términos de producción agrícola. Más allá de los beneficios a corto plazo de los plaguicidas, es importante considerar y cuantificar los costos escondidos que representan para la economía agrícola.

Bibliografía

- Desneux N, Decourtye A, Delpuech JM (2007) The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 52: 81-106
- IPBES (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts,

- V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo, (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 pages.
- Klein A.-M., Vaissière B.E., Cane J.H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S.A., Kremen C. & Tscharntke T. (2017) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B* (2017) 274, 303–313 doi: 10.1098/rspb.2016.3721
- Lautenbach S, Seppelt R, Liebscher J, Dormann CF (2012) Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit. *PLoS ONE* 7(4): e35954. doi: 10.1371/journal.pone.0035954
- Neumann P, Carreck NL (2010) Honey bee colony losses. *J Apic Res* 49: 1-6
- Vandame R, Meled M, Colin ME, Belzunces LP (1995) Alteration of the homing-flight in the honey bee *Apis mellifera* exposed to sublethal dose of deltamethrin. *Environmental Toxicology & Chemistry* 14: 855-860
- Vandame R (2017) Abejas e insecticidas. In: *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. Fernando Bejarano (editor). 364 pp.
- van Engelsdorp D, Hayes J, Underwood RM and Pettis J (2008) A Survey of honey bee colony losses in the U.S., fall 2007 to spring 2008. *PLoS ONE* 3(12): e4071. doi:10.1371/journal.pone.0004071
- van Engelsdorp D, Evans JD, Saegerman C, Mullin C, Haubruge E, et al. (2009) Colony Collapse Disorder: a descriptive study. *PLoS ONE* 4(8): e6481. doi:10.1371/journal.pone.0006481