

# Efectos del cambio climático sobre la polinización y la producción agrícola en América tropical

María Alejandra Maglianesi Sandoz

*Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional Estatal a Distancia,  
San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica  
mmaglianesi@uned.ac.cr*

*Recibido 15 octubre 2015*

*Aceptado 14 marzo 2016*

---

## Abstract

Climate change impacts everyone, but it has a larger effect on the most vulnerable populations. This paper shows how indigenous groups, focusing on the Lenca people of Honduras, face this phenomenon. The author explores the concept of cultural erosion, which combines public policies replacing traditions and primitive ways of production and brings unsustainability.

## Keywords

Honduras, Lenca, politics, socioeconomy.

## Resumen

Los organismos polinizadores desempeñan un rol fundamental en la agricultura y consecuentemente en la seguridad alimentaria en América tropical. Debido a las alteraciones ambientales inducidas por el cambio climático, una variedad de especies de polinizadores se encuentra actualmente en disminución, lo cual tiene importantes implicaciones para los ecosistemas tanto naturales como agrícolas. Es probable que la “crisis de los polinizadores” afecte a la producción y los costos de ciertos cultivos contribuyendo con desequilibrios alimentarios y problemas de salud en los países de la región. Ante esta problemática, es imprescindible llevar a cabo estudios que mejoren nuestra comprensión sobre las relaciones planta-polinizador en cultivos agrícolas, además de implementar estrategias orientadas a revertir la declinación de las poblaciones de polinizadores. De qué manera el cambio climático afectará la producción agrícola y la seguridad alimentaria en América tropical dependerá en gran medida de cómo las interacciones planta-polinizador se vean influenciadas.

## Palabras clave

Abejas, agricultura, América Latina, planta-polinizador, seguridad alimentaria





El cambio climático representa actualmente una de las principales amenazas a la biodiversidad, las sociedades humanas y la economía mundial [1-3]. Este fenómeno implica una serie de modificaciones en el clima atribuidas directa o indirectamente al ser humano que alteran la composición de la atmósfera global. Entre las principales modificaciones al clima se encuentra el incremento global de la temperatura, a partir de la cual se derivan otros cambios como la disminución de humedad relativa en el ambiente, las modificaciones en el régimen de precipitaciones, el aumento de las sequías en ciertas regiones y de inundaciones debido a un aumento en el nivel del mar. El incremento de temperatura es el resultado del efecto invernadero, causado principalmente por el aumento de ciertos gases en la atmósfera, entre los cuales se encuentran el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). El aumento en unos pocos grados Celsius de la temperatura global del planeta puede desencadenar una serie de alteraciones que afectan de múltiples formas a los organismos tanto en los ecosistemas naturales como en los cultivos agrícolas.

Las comunidades ecológicas están organizadas en redes complejas de interacción donde las especies se relacionan unas con otras a través de diferentes tipos de interacciones. Las interacciones mutualistas son un tipo de interacción donde ambas especies se ven mutuamente beneficiadas [4], como por ejemplo las interacciones planta–polinizador. Así como las plantas dependen de sus polinizadores, muchos insectos, aves y murciélagos necesitan de las plantas para obtener energía y nutrientes [5, 6]. En las interacciones planta–polinizador, la planta se beneficia al ser visitada por un organismo que actúa como agente polinizador; es decir, que se encarga de transportar polen hasta otra flor para fertilizarla, contribuyendo por lo tanto con su reproducción. A su vez, los polinizadores obtienen de la flor su alimento como néctar y polen [7]. Este tipo de asociaciones ha favorecido al desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad en el planeta, como así también la estabilidad de los ecosistemas [8].

Aunque la polinización puede ser llevada a cabo por vectores abióticos como el agua o el viento, la gran mayoría de plantas con flores (angiospermas) dependen de la polinización biótica, es decir mediada por animales. En el Neotrópico, muchas especies de polinizadores se encuentran especializadas en el uso de flores como recurso alimenticio. En particular los colibríes son considerados como los polinizadores más efectivos, debido a que no se alimentan de polen como otras especies, sino que lo transportan en su pico y plumaje [9, 10]. En los agro–ecosistemas, los insectos desempeñan un rol fundamental como polinizadores. Las abejas son los insectos que por excelencia participan en esta tarea, por lo que poseen una gran importancia económica y ecológica en dichos ecosistemas. Una gran parte de los alimentos que hoy en día se consumen y comercializan masivamente dependen directa o indirectamente de la polinización realizada por abejas [11]. Así por ejemplo, se estima que la contribución de los insectos polinizadores a la producción agrícola se traduce en aproximadamente 190.000 millones de dólares al año en todo el mundo [12], mientras que en los Estados Unidos las abejas son responsables de casi 3 billones de dólares en frutas y vegetales producidas cada año. En este país, el 30% de todos los alimentos de consumo humano dependen en algún grado de la polinización mediada por insectos, principalmente abejas, tanto sociales como solitarias [13].

## 1. IMPORTANCIA DE LA POLINIZACIÓN PARA LA AGRICULTURA EN AMERICA TROPICAL

La gran mayoría de las especies de plantas angiospermas solo producen semillas si los agentes polinizadores han transferido previamente el polen de las anteras a los estigmas de sus flores. Si este servicio no se realizara, muchas especies que interactúan entre sí y muchos procesos del ecosistema desaparecerían [14]. Existen más de 200 000 especies de angiospermas que dependen de aproximadamente 100 000 especies de organismos polinizadores, por lo cual la polinización es esencial para el mantenimiento general de la diversidad biológica. Diferentes especies de abejas, aves y murciélagos, entre otros, contribuyen a polinizar plantas en cultivos que representan el 35% de la producción agrícola del mundo. Estos polinizadores aumentan significativamente los productos de 87 de los principales cultivos alimentarios a nivel global, además de muchos medicamentos derivados de las plantas en todo el mundo [15].

Globalmente, los animales ofrecen servicios de polinización a aproximadamente el 75% de las especies de plantas en cultivos, mientras que contribuyen con la reproducción de aproximadamente un 80% de las angiospermas en los ecosistemas naturales. La importancia de los polinizadores en los ecosistemas tropicales es aún mayor en comparación con la de los ecosistemas en las regiones templadas. Por ejemplo, se estima que en los bosques tropicales los animales polinizan hasta el 95% de las angiospermas mientras que en las regiones templadas corresponde a un 78% [16, 17].

Los insectos polinizadores, principalmente abejas melíferas y silvestres, desempeñan un rol fundamental en la producción de cultivos endémicos de la región de América tropical (ejemplo: papa, frijol, maíz, vainilla, entre muchos otros) y de cultivos introducidos polinizados por la fauna nativa de la región. Así, por ejemplo, el lulo o naranjilla (*Solanum quitoense*) es una planta del noroeste de América del Sur de la cual depende la subsistencia de muchas familias en Colombia. La producción de este cultivo generalmente no logra abastecer la demanda interna debido principalmente a la dificultad de incrementar la producción por la baja calidad genética de las semillas, lo cual es el resultado de una polinización inadecuada [11]. Ante esta situación, se implementó la cría de abejorros nativos (*Bombus atratus*) para la polinización del cultivo y se observó que el incremento del número de individuos de abejorro aumentó considerablemente la producción de frutos y mejoró su calidad en cuanto a tamaño y número de semillas [18].

Estudios sobre la polinización en los sistemas productivos de maracuyá (*Passiflora edulis*), especie nativa de las regiones cálidas de Centroamérica y Sudamérica, han revelado que la polinización cruzada por parte de las abejas (*Xylocopa varipuncta* y *Apis mellifera*) es indispensable para el desarrollo y formación de los frutos [19]. A su vez, se ha demostrado que el maracuyá necesita de polinizadores para producir una buena cosecha, ya que solo el 33% de los frutos se forma sin la visita de los polinizadores a las flores, es decir por autopolinización [20]. Estos datos resaltan la importancia de la conservación de los polinizadores localmente y la necesidad de ser incorporados en el plan de manejo de los cultivos.

Otros cultivos como la papaya y el tomate son altamente dependientes de la polinización por animales. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

Biodiversidad (Conabio) de México resaltó la importancia de la polinización por abejas en la producción de frutos en plantas dioicas de papaya (*Carica papaya*) y los beneficios de plantas masculinas como fuente de recursos para abejas melíferas. Por otro lado, un estudio [21] evaluó el potencial de la especie de abejorro nativo de Colombia *Bombus atratus* como polinizador del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en condiciones de invernadero, utilizando colonias criadas en cautiverio. Se compararon cultivos sometidos a autopolinización con cultivos con obreras de *B. atratus*. Los autores encontraron que los frutos generados por las visitas del abejorro presentaron incrementos significativos en una serie de variables como el peso fresco del fruto (41%), el número de semillas por fruto (103%), el diámetro ecuatorial de los frutos (14%) y la proporción de lóculos bien desarrollados (42%). En Costa Rica, Peña [22] destaca la importancia de la polinización entomófila en el aumento de la producción y calidad de frutos en cultivos tropicales. Este autor resalta el rol de ciertas especies de escarabajos (Coleóptera) en la polinización de cultivos de las familias Anonaceae, Laureacea, Anacardiaceae y Passifloraceae. Estudios sobre la polinización en cafetales de Costa Rica, han demostrado que la polinización que llevan a cabo las abejas silvestres de las zonas boscosas colindantes contribuye a incrementar las cosechas hasta en un 20% [12, 23].

## **2. CONTRIBUCIÓN DE LOS POLINIZADORES A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN LATINOAMÉRICA**

En Latinoamérica, los polinizadores desempeñan un papel decisivo en la producción agrícola, especialmente en la producción hortícola y forrajera, así como en la producción de semillas destinadas al cultivo de fibras y raíces. La seguridad alimentaria, la diversidad de los alimentos, la nutrición humana y los precios de los alimentos dependen en gran medida de los animales polinizadores, especialmente para el caso de los cultivos hortícolas. La importancia por tanto de los polinizadores se intensifica considerando que la diversificación hacia los cultivos hortícolas está constituyendo una alternativa para la mitigación de la pobreza para muchos agricultores de la región [11]. El comercio de cultivos hortícolas representa más del 20% de las exportaciones agrícolas de los países en desarrollo, lo cual representa más del doble de los cultivos de cereales [24].

A diferencia del aumento histórico en la producción de cereales, la ampliación de la producción de frutas y hortalizas en la América tropical se ha dado principalmente por el incremento de la superficie cultivada y no como consecuencia del aumento de los rendimientos. Esta situación se evidencia en la gran expansión de ciertos cultivos en detrimento de los bosques tropicales como ha sido el caso de la piña en Costa Rica y otros países de Centroamérica. El incremento en la productividad agrícola permitiría fortalecer la seguridad alimentaria y reducir la necesidad de incrementar las tierras para la expansión de dichos cultivos con el fin de abastecer un mercado creciente. Tomando en cuenta lo anterior, los organismos polinizadores pueden contribuir notablemente con el problema de la deforestación tropical asociado con la agricultura en Latinoamérica al propiciar una mayor producción y calidad de los cultivos.

Los servicios de polinización hacen importantes contribuciones con relación a la calidad de los cultivos de frutas y fibra, como es el caso del algodón, lo cual se

debe a una polinización adecuada. A su vez, se ha encontrado que la gestión de los procesos para mejorar la polinización contribuye a aumentar los rendimientos de ciertos cultivos, como el aceite utilizado para la producción de biocombustibles a partir de fuentes nuevas o alternativas (por ejemplo, el aceite de ricino y crotón en Brasil). La polinización puede contribuir además con otros aspectos de la producción agrícola. Tal es el caso de la polinización del pimiento en Chile (*Capsicum annum*) que contribuye a acelerar su maduración, lo cual puede traducirse en la obtención de un precio fuera de temporada más elevado para los pimientos en el mercado y en una producción adicional del fruto durante la temporada de crecimiento [14].

### 3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA POLINIZACIÓN

Las interacciones planta–polinizador al igual que otras interacciones mutualistas son particularmente vulnerables al cambio climático debido a la susceptibilidad de que se desacoplen las actividades de las especies que interactúan si estas no responden de manera similar a los cambios ambientales [25]. Este fenómeno recibe el nombre de desacople fenológico y consiste generalmente en un adelanto en la actividad de las especies que interactúan de tal forma que dichas especies ya no co-ocurren temporalmente. Así por ejemplo, algunas plantas florecen en épocas diferentes, mientras que algunas especies de insectos emergen de manera anticipada con respecto a la época en el año en que normalmente lo hacían. Actualmente, están aumentando las evidencias que relacionan los cambios en la frecuencia y la severidad de eventos climáticos extremos inducidos por el cambio climático con alteraciones en la fenología de floración, la producción de néctar y polen de plantas en los bosques tropicales y subtropicales [26].

Por otra parte, el incremento de temperatura que se ha venido dando en las últimas décadas también está afectando la distribución geográfica de algunas especies. Especialmente en ecosistemas de montaña, donde se espera que los efectos del cambio climático sean particularmente severos, se han encontrado evidencias de que ciertas especies de polinizadores se están desplazando a mayores altitudes [27]. En este caso, ocurre un desacople espacial debido a que plantas y polinizadores ya no co-ocurren en las mismas áreas. Existen numerosos estudios demostrando que el desacople fenológico y espacial están ocurriendo y que se deben a las alteraciones inducidas por el cambio climático [28-31]. Como resultado de este problema, los organismos podrían verse afectados en su supervivencia, su reproducción o en ambos aspectos de su ciclo de vida. Así por ejemplo, la reproducción de las plantas podría reducirse por falta de polinizadores, mientras que los polinizadores podrían enfrentarse a una escasez de recursos alimenticios si las plantas que utilizan regularmente no se encuentran en floración [32].

El resultado final del desacople fenológico, al igual que el desacople espacial, es la reducción en las poblaciones de plantas y organismos polinizadores con serias implicaciones en la composición y estructura de las comunidades vegetales como así también en las funciones y servicios de polinización. Se ha estimado que las colonias de abejas han disminuido aproximadamente en un 25% en Estados Unidos desde la década de los noventa y globalmente cerca de 200 especies de vertebrados polinizadores podrían estar próximos a la extinción [33]. La declinación de las poblaciones de organismos

polinizadores en todas partes del mundo, y en especial en las regiones tropicales donde se encuentra la mayor biodiversidad del planeta, es causa de una gran preocupación debido a la reducción en la productividad en ecosistemas agrícolas y a la pérdida de especies en ecosistemas naturales [34-35]. Es probable que la disminución de los polinizadores debido al cambio climático afecte a la producción y a los costos de los cultivos ricos en vitaminas como las frutas y hortalizas en la América tropical, lo que determinará cada vez mayores desequilibrios alimentarios y problemas de salud en los diferentes países de la región. En consecuencia, la gestión de los servicios de polinización que favorezcan el mantenimiento e incremento de las cosechas de cultivos hortícolas en el marco del desarrollo agrícola reviste una gran importancia para la salud, la nutrición, la seguridad alimentaria y el aumento de los ingresos agrícolas de los países en Latinoamérica [14].

#### **4. PERSPECTIVAS PARA EL FUTURO DE LA POLINIZACIÓN Y LA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA**

Con la finalidad de revertir el proceso de declinación de los polinizadores es necesario, en primer lugar, desarrollar estudios que permitan una mejor comprensión de las interacciones planta–polinizador en los agro–ecosistemas del Neotrópico. A pesar de la importancia económica y ecológica de las abejas, por ejemplo, aún se conoce muy poco sobre su diversidad y relaciones ecológicas en las diferentes regiones de Latinoamérica, lo cual dificulta su conservación y aprovechamiento. Así como ocurre en otras disciplinas, la mayoría de estudios sobre abejas y su rol como polinizadores están sesgados hacia las regiones templadas, llevados a cabo en países desarrollados que cuentan con mejores recursos financieros para investigación. Por lo tanto, todavía existe un gran vacío en conocimiento sobre los procesos de interacción entre plantas y sus polinizadores en los agro-ecosistemas de Latinoamérica y el Caribe, cuyos países dependen económicamente de la producción agrícola y consecuentemente de la polinización. En segundo lugar, es necesario aumentar y mejorar las prácticas de manejo de los servicios de polinización en diferentes escalas que involucren desde la finca con sus cultivos y sus límites, hasta el manejo de todo el paisaje agrícola de una región [11]. Existen diferentes estrategias para lograr un aumento en la diversidad y abundancia de polinizadores, lo cual permitiría mejorar los servicios de polinización. Entre estas estrategias se encuentran la creación de hábitats apropiados para insectos polinizadores, la siembra de plantas alternativas que les permitan el forrajeo cuando los cultivos no están en floración y la creación de sitios de nidificación o refugio [36]. En tercer lugar, se requiere una disminución en el uso de agroquímicos que podrían contribuir con la declinación de las poblaciones de polinizadores acompañado por el desarrollo de prácticas de control biológico para el manejo integrado de plagas que afectan los cultivos agrícolas.

#### **5. CONCLUSIONES**

Los seres vivos no son entidades aisladas, sino que interactúan unos con otros formando redes ecológicas de alta complejidad. Los mutualismos como la polinización contribuyen a generar y mantener la biodiversidad, además de asegurar

el funcionamiento y la estabilidad de los ecosistemas. A su vez, los servicios de polinización que brindan muchos animales desempeñan un papel decisivo en la producción agrícola y la seguridad alimentaria en la América tropical. A lo largo del último decenio ha crecido considerablemente el reconocimiento de la importancia que tienen los polinizadores en la diversidad como así también en la producción agrícola y consecuentemente en la seguridad alimentaria en los países del Neotrópico. Existe, sin embargo, una amplia evidencia de que las interacciones planta–polinizador están siendo gravemente afectadas por las alteraciones ambientales inducidas por el cambio climático. La declinación de las poblaciones de polinizadores como consecuencia de la interrupción de las interacciones planta–polinizador podría tener efectos sin precedentes sobre la biodiversidad y serias implicaciones sobre el funcionamiento de los ecosistemas naturales y la producción agrícola.

Con la finalidad de revertir el proceso de declinación de las poblaciones de polinizadores y los servicios que brindan, es necesario llevar a cabo estudios que nos permitan entender mejor las relaciones planta–polinizador en los sistemas agrícolas de América tropical. A su vez, es necesario implementar estrategias orientadas a aumentar la diversidad y abundancia de polinizadores, lo que permitiría el mantenimiento e incremento de las cosechas de cultivos en la región. La conservación y una gestión más adecuada de los servicios de polinización reviste una importancia fundamental para la salud, la nutrición, la seguridad alimentaria, como así también en el aumento de los ingresos agrícolas de los campesinos, en especial de bajos recursos en la región. La implementación de estrategias para una mejora en los servicios de polinización debería ir acompañada por el desarrollo de medidas que permitan el manejo integrado de plagas con una reducción del uso de agroquímicos. De qué manera el cambio climático afectará la producción agrícola y la seguridad alimentaria en la América tropical dependerá en gran medida de cómo las interacciones planta–polinizador se vean influenciadas y de las acciones que podamos tomar para evitar la interrupción de dichas interacciones.

## REFERENCIAS

1. Sala OE. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*. 2000; 287:1770–1774.
2. Thomas CD, Cameron A, Green RE, Bakkenes M, Beaumont LJ, et al. Extinction risk from climate change. *Nature*. 2000; 427:145–148.
3. Beaumont LJ, Pitman A, Perkins S, Zimmermann NE, Yoccoz NG, et al. Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011; 108:2306–2311.
4. Bascompte J, Jordano J. *Mutualistic Networks*. Monographs in Population Biology Series, Princeton: Princeton University Press; 2014.
5. Waser NM, Ollerton J. *Plant–Pollinator interactions from specialization to generalization*. Chicago: University of Chicago Press; 2000.
6. Kevan, PG, Phillips TP. The economic impacts of pollinator declines: an approach to assessing the consequences. *Conservation Ecology*. 2007; 5:8.



7. Inouye, DW, Pyke GH. Pollination biology in the snowy mountains of Australia: comparisons with montane Colorado, USA. *Australian Journal of Ecology*. 1998; 13:191–205.
8. Bronstein JL. Mutualism, diversity, and diversification. *Smithsonian Botanical Symposium. Botany Profile. The plant press*. 2008; 11 (3), 11.
9. Ramsey MW. Differences in pollinator effectiveness of birds and insects visiting *Banksia menziesii* (Proteaceae). *Oecologia*. 1998; 76:119–124.
10. Castellanos MC, Wilson P, Thomson JD. Pollen transfer by hummingbirds and bumblebees, and the divergence of pollination modes in *Penstemon*. *Evolution*. 2003; 57:2742–2752.
11. Pantoja A, Smith-Pardo A, García A, Sáenz A, Rojas A. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Santiago: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO; 2014.
12. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). Resumen ejecutivo. En: Informe sobre la economía de los ecosistemas y la biodiversidad para las empresas. Malta: The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB); 2010.
13. Batra SW. Abejas solitarias. *Investigación y Ciencia*. 1984; 91:78–86.
14. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Los polinizadores: su biodiversidad poco apreciada, pero importante para la alimentación y la agricultura. Túnez: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2008.
15. Klein AM, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *The Proceedings of the Royal Society of London*. 2006; Series B: 274:303–313.
16. Ollerton J, Winfree R, Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*. 2011; 120:321–326.
17. Vanbergen AJ. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2013; 11:251–259.
18. Almanza MT. Management of *Bombus atratus* bumblebees to pollinate lulo (*Solanum quitoense*), a native fruit from the Andes of Colombia. *Ecology and Development Series*. 2007; 50.
19. Malavolta E. Nutrición y Fertilización del Maracuyá. San Paulo: CENA– Piracicaba; 1994.
20. Coca C, Nates G, Ospina G, Melo GD, Amaya-Márquez M. Biología floral y reproductiva de la gulupa *Passiflora edulis* Sims f. *edulis*. *Caldasia*. 2011; 33:433–451.
21. Aldana J, Cure JR, Almanza MT, Vecil D, Rodríguez D. Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Agronomía Colombiana*. 2007; 25:62–72.

22. Peña JE. Insectos polinizadores de cultivos tropicales: no solo las abejas llevan la miel al panal. Manejo aplicado de plagas y agroecología. CATIE. 2003; 69:6–20.
23. Ricketts TH. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology*. 2004; 18:1262–1271.
24. Lumpkin T, Weinberger AK, Moore S. Increasing income through fruit and vegetable production opportunities and challenges. Marrakech: CGIAR Science Council paper; 2006.
25. Visser ME, Both C. Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 2005; 272:2561–2569.
26. Butt N, Seabrook L, Maron M, Law BS, Dawson TP, et al. Cascading effects of climate extremes on vertebrate fauna through changes to low latitude tree flowering and fruiting phenology. *Global Change Biology*. 2015; 21:3267–3277.
27. Fogden M, Fogden P. *Hummingbirds of Costa Rica*. Miami: Zona Tropical; 2005.
28. Parmesan, C Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 2003; 421:37–42.
29. Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, et al. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*. 2003; 421:57–60.
30. Dunn P. Breeding dates and reproductive performance. *Advances in Ecological Research*. 2004; 35:67–86.
31. Bartomeus I, Ascher JS, Wagner D, Danforth BN, Colla SR, et al. Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011; 108:20645–20649.
32. Kjøhl, M, Nielsen A, and Stenseth NC. Potential effects of climate change on crop pollination. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2011.
33. Allen-Wardell G, Bernhardt P, Bitner R, Burquez A, Buchmann S, et al. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. *Conservation Biology*. 1998; 12:8–17.
34. Buchmann SL, Nabhan GP. *The forgotten pollinators*. Washington DC: Island Press; 1996.
35. Kevan PG. and Viana BF. The global decline of pollination services. *Conservation Ecology*. 2003; 4:3–8.
36. Shepherd M, Buchmann S, Vaughan M, Hoffman S. *Pollinator Conservation Handbook: A guide to understanding, protecting, and providing habitat for native pollinator insects*. Portland: The Xerces Society; 2003.