

Universidad Nacional del Comahue

Centro Regional Universitario Bariloche

**Evaluación de la diferencia del rendimiento de la
agricultura orgánica vs. convencional en función de la
dependencia de polinizadores**

Autor: Nahuel Aizen

Director: Agustín Sáez

Co-Directora: Carolina Laura Morales

1972

**Trabajo Final para optar por el título de Licenciado en Ciencias
Biológicas**

The greatest adventure is what lies ahead.

Today and tomorrow are yet to be said.

The chances, the changes are all yours to make.

The mold of your life is in your hands to break.

— J.R.R. Tolkien, *The Hobbit*.

Índice

Resumen	4
Abstract	5
Introducción	6
Materiales y Métodos	11
Resultados	16
Discusión	21
Conclusiones	26
Agradecimientos	27
Apéndices	
Apéndice I	28
Apéndice II	36
Tablas Suplementarias	37
Figuras Suplementarias	46
Bibliografía	62

Resumen

La agricultura orgánica ha tomado prominencia como una alternativa a la agricultura convencional debido a su menor impacto ambiental. Sin embargo, ha habido mucho debate sobre si es realmente una alternativa viable social y económica debido a su menor rendimiento por unidad de superficie respecto de la agricultura convencional. No obstante, el bajo impacto que tienen las prácticas orgánicas sobre las poblaciones de insectos podría mejorar el rendimiento de los cultivos que dependen de los servicios que ellos brindan. Por ejemplo, cultivos dependientes de polinizadores manejados bajo métodos orgánicos podrían experimentar un incremento en su producción debido a una mayor abundancia y diversidad de polinizadores, compensando parcial o totalmente la reducción en su rendimiento asociado a este tipo de manejo. Para poner a prueba esta hipótesis utilicé la base de datos compilada por Ponisio et al. (2015), la cual resultó de una búsqueda bibliográfica de trabajos donde se estudió el rendimiento comparativo de cultivos orgánicos y convencionales. En este proyecto comparé el rendimiento de 1061 campos de cultivos orgánicos vs. convencionales pertenecientes a 51 cultivos diferentes en función del nivel de dependencia de polinizadores (i.e., dependencia nula o no dependiente, baja, media, alta, y fundamental) de cada cultivo, usando un enfoque de meta-análisis. Se observó una reducción marcada en la brecha de rendimiento entre cultivos convencionales y orgánicos conforme se incrementa el grado de dependencia del cultivo de los polinizadores. Mientras que los cultivos orgánicos que no se benefician de los servicios de polinización presentaron rendimientos significativamente menores que sus contrapartes convencionales, aquellos con mayor dependencia de la polinización animal no demostraron rendimientos significativamente diferentes respecto de los convencionales. Adicionalmente, la tendencia observada sugiere que para algunas especies con máxima dependencia de polinizadores los cultivos orgánicos podrían exhibir incluso un rendimiento superior al de sus contrapartes convencionales. Los resultados indican que para cultivos de alta dependencia de polinizadores el manejo orgánico no implica una pérdida de producción y hasta podría significar un incremento de la misma.

Palabras Clave: agricultura convencional, agricultura orgánica, brecha de rendimientos, dependencia de polinizadores, meta-análisis.

Abstract

Organic agriculture has taken prominence as an alternative to conventional agriculture due to its lower environmental impact. However, there has been much debate about whether it is really a socially and economically viable alternative due to its lower yield per unit area compared to conventional agriculture. Nonetheless, the low impact that organic practices have on insect populations could favor crops that depend on the services they provide, thus improving their yield. For example, pollinator-dependent crops managed under organic methods could experience an increase in their production due to a greater abundance and diversity of pollinators, partially or completely compensating for the reduction in yield associated with this type of management. To test this hypothesis, I used the database compiled by Ponisio et al. (2015), which is the result of an exhaustive bibliographic search of papers comparing the yield of organic and conventional crops. Using a meta-analysis approach, I compared the yield of 1,061 pairs of organic and conventional fields, belonging to 51 different crops, as a function of the crop's level of pollinator-dependence (i.e., non-dependent, low, medium, high, fundamental). A sharp reduction in the yield gap between organic and conventional crops was observed as the crop's dependency on pollinators increased. While organic crops that do not benefit from pollination services had significantly lower yields than their conventional counterparts, those with a greater reliance on animal pollination did not show significant yield differences compared to conventional ones. Additionally, the observed trend suggests that for some highly pollinator-dependent crops, organic management could even exhibit a higher yield than their conventional counterparts. The results indicate that, for crops with high dependence on pollinators, organic management does not necessarily result in a loss of production and can even increase in it.

Key words: conventional agriculture, meta-analysis, organic agriculture, pollinator-dependence, yield gap.

Introducción

La agricultura es una actividad tan antigua como la civilización humana y precursora de las primeras urbes (Fuller & Stevens, 2019; Lev-Yadun et al., 2000). La agricultura es crítica para la subsistencia de nuestra especie, constituyendo un pilar de la economía global, responsable de la producción de materiales textiles, médicos, energéticos, y por supuesto, comestibles, entre otros. En el presente, más de 51 millones de kilómetros cuadrados están cubiertos por campos de cultivo o de pastoreo. Esto representa más de una tercera parte de la superficie terrestre emergida y aproximadamente la mitad de la superficie habitable del planeta (FAO, 2012; Ramankutty et al., 2008).

Nuestro alto grado de dependencia a la agricultura significa que todo cambio radical que pueda sufrir la industria repercute en todos los niveles de la sociedad y puede tener consecuencias catastróficas. El último siglo ha sido testigo de la muerte de millones de seres humanos y la desestabilización de naciones como consecuencia de la adopción de malas prácticas agrarias. Un ejemplo de esto fueron las repetidas hambrunas que tuvieron lugar en la Unión Soviética a partir de la década de 1930, las cuales cobraron la vida de aproximadamente siete millones de personas y fueron, en parte, consecuencia de la adopción de prácticas agrícolas inadecuadas, entre estas la prohibición del uso de fertilizantes y pesticidas, propuesta por el entonces ministro de agricultura Trofim Denisovich Lysenko (Kean, 2017). Otro ejemplo semejante fueron las hambrunas que tuvieron lugar en la República China entre los años de 1959 a 1961, donde el exterminio sistemático de gorriones en los campos, entre otras prácticas agrarias, llevaron a la proliferación de plagas y la mayor hambruna en la historia de la humanidad, la cual cobró entre 15 y 55 millones de vidas (Chen & Wang, 2021; Kean, 2017). Estas calamidades históricas representan ejemplos extremos sobre las consecuencias que pueden tener la implementación a gran escala de prácticas agrícolas poco estudiadas o no sustentadas por evidencia empírica.

La agricultura no es una actividad de la que simplemente podemos, como especie, escoger prescindir. Sin embargo, la actividad agrícola representa una seria amenaza para nuestra biosfera y nuestra especie (Dudley & Alexander, 2017; Green et al., 2005; Tilman, 1999). En su forma actual, la agricultura es una actividad de alto impacto ambiental, lo que combinado con la escala en la que se la practica la convierten en una de los mayores promotores de la crisis ambiental que está sufriendo el planeta (Amundson et al., 2015; Godfray et al., 2010; Rockström et al., 2009). En particular, las prácticas agrícolas modernas son responsables del reemplazo de hábitats naturales por tierras cultivadas (Foley et al., 2004), de la eutrofización de cuerpos de agua (Bennett et al., 2001; Tilman, 1999; FAO, n.d.), del agotamiento irreversible de suelos (Montgomery, 2007), del declive catastrófico global de vertebrados e invertebrados (Gibbs et al., 2009; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019) y de la emisión de gases con efecto invernadero (Tubiello et al., 2013). Como consecuencia, la actividad agrícola que sustenta a nuestra especie no es en sí sustentable (Amundson et al., 2015; Godfray et al., 2010; Rockström et al., 2009).

Existen dos enfoques por los cuales se puede reducir el impacto ambiental derivado de la actividad agrícola, el primero es desarrollar y/o adoptar prácticas de menor impacto ecológico que las convencionales. El segundo es incrementar el rendimiento de los cultivos sin incrementar su impacto ambiental, lo que permitiría mantener cuotas de producción a un menor costo ecológico relativo (Green et al., 2005). En respuesta a la crisis ambiental agrícola se han propuesto varias formas de agricultura alternativas, siendo la agricultura orgánica, práctica caracterizada por su oposición al uso masivo de plaguicidas y otros agroquímicos mayormente sintéticos, la más prominente (Crowder & Reganold, 2015). Esta forma de agricultura es un sistema de producción agraria que promueve la adopción de una serie de prácticas y posturas de cultivo calificadas como “naturales” con el fin de minimizar el impacto ambiental de la actividad agrícola (ver **Apéndice I** para mayor detalle). Sin embargo, pese a que las prácticas orgánicas son significativamente más ambientalmente amigables que sus contrapartes convencionales, también se ha visto que son, en promedio, menos productivas

(Badgley et al., 2007; De Ponti et al., 2012; Meemken & Qaim, 2018; Ponisio et al., 2015; Seufert et al., 2012; Stanhill, 1990). Se estima que los cultivos orgánicos presentan en general un rendimiento entre un 8 y 25% inferior al de sus contrapartes convencionales (Badgley et al., 2007; De Ponti et al., 2012; Ponisio et al., 2015; Seufert et al., 2012; Stanhill, 1990). A esta diferencia productiva entre formas de agricultura se la conoce como “brecha de rendimiento” (o “yield gap” en inglés), y en el caso de la agricultura orgánica representa su principal factor limitante para su desarrollo y adopción masiva. Este bajo rendimiento relativo limita la viabilidad económica de la agricultura orgánica y podría contrarrestar los beneficios ecológicos de su bajo impacto ambiental por parcela. Esto se debe a que una pérdida en el rendimiento de un cultivo puede demandar una expansión del área de cultivo para conservar las cuotas de producción, lo que amplifica el impacto ambiental neto de la actividad.

Pese a que el impacto ambiental real de los cultivos orgánicos neto es difícil de medir y está sujeto a debate, este es producto de la relación entre el impacto ambiental de las prácticas agrícolas y el área cultivada (Connor, 2018a; Meemken & Qaim, 2018; Muller et al., 2017; Searchinger et al., 2018). Como señalé en el párrafo anterior, el bajo rendimiento de un cultivo puede amplificar su impacto ambiental si esto resulta en una expansión del área de cultivo. Esto significa que el impacto ecológico de la agricultura orgánica, y su viabilidad como práctica alternativa a la agricultura convencional, dependen de su rendimiento.

En este contexto, varios estudios que comparan el rendimiento de cultivos convencionales y orgánicos han hallado escenarios bajo los cuales el rendimiento de ambas prácticas se asemejan, y han buscado identificar las causas puntuales responsables de la reducción en la brecha de rendimientos (e.g. Ponisio et al., 2015; Seufert et al., 2012). Algunos de los factores que estos estudios han determinado que afectan la brecha de rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales son: la forma de vida de la especie cultivada, la longevidad de la especie cultivada, si el cultivo es una leguminosa o no, si los campos son irrigados, si se practica rotación de cultivos, si existen

aportes de nitrógeno, y si se cultiva un solo cultivo (monocultivo) o varios cultivos (policultivo) en el mismo lote (e.g. Ponisio et al., 2015; Seufert et al., 2012). El presente trabajo propone que uno de estos factores que mejora el rendimiento relativo de los cultivos orgánicos en comparación con los convencionales es la dependencia de los cultivos a la polinización animal.

Aproximadamente el 70% de las especies cultivadas dependen, en distinto grado, de polinizadores para maximizar su producción (Aizen et al., 2009; Klein et al., 2007). Se ha estimado que cerca del 35% de toda la producción agrícola está representada por cultivos que dependen de animales polinizadores (Aizen et al., 2009; Klein et al., 2007). Sin embargo, esta dependencia no es igual para todas las especies vegetales, y mientras que algunas especies experimentan tan sólo una reducción marginal en el volumen o calidad de su producto en ausencia de polinizadores, otras reducen su producción básicamente a cero. Por el contrario, también hay cultivos que no dependen de la polinización animal en lo absoluto y su producción es la misma en la presencia o ausencia de animales polinizadores (Aizen et al., 2022). Esto incluye cultivos que son polinizados por el viento (e.g. trigo, maíz, arroz, etc.), producen semillas o frutos en forma autógama (e.g. varias variedades de soja, tomate, porotos, etc.), o son cultivados por sus partes vegetativas (e.g. papa, zanahoria, lechuga, etc.). En cultivos, este grado de dependencia, que puede variar entre un 0 y 100%, se estima a partir de la diferencia relativa en la producción de frutos y/o semillas entre plantas cuyas flores han sido visitadas por polinizadores vs. plantas cuyas flores fueron aisladas de ellos, ya sea embolsando flores, ramas o aislando individuos completos (Klein et al., 2007).

Una práctica común en agricultura es el empleo de colmenas de abejas domesticadas como *Apis mellifera* o *Bombus terrestris* para brindar servicios de polinización a sus cultivos cuando estos dependen de polinizadores. Sin embargo, no toda polinización es igual y la calidad de los servicios de polinización dependen en gran medida de la diversidad y abundancia de insectos polinizadores (Garibaldi et al., 2013; Osterman et al., 2021; Sáez et al., 2022). A diferencia de las prácticas convencionales, cuyo uso intensivo de pesticidas e insecticidas mayormente sintéticos puede afectar a artrópodos

“no-objetivo” y en particular a organismos benéficos, las prácticas orgánicas tienen un impacto relativamente bajo sobre las poblaciones de artrópodos . En consecuencia, los cultivos orgánicos coexisten con una mayor cantidad de polinizadores silvestres que sus contrapartes convencionales (Lichtenberg et al., 2017). Como resultado de esta mayor diversidad de insectos, los cultivos orgánicos dependientes de polinizadores podrían verse beneficiados de servicios de polinización de mayor calidad que el que pueden brindar las abejas domésticas, y por esa razón experimentar un incremento en su producción. Esto podría compensar parcial o completamente la reducción en el rendimiento asociado a los métodos de cultivo más ambientalmente amigables de la agricultura orgánica.

Dado que distintas especies y variedades de cultivo tienen distintos grados de dependencia a la polinización animal (Aizen et al., 2022; Klein et al., 2007), es posible analizar la magnitud de la brecha de rendimientos entre cultivos orgánicos y convencionales en función del grado de dependencia a los polinizadores del cultivo. En particular, hipotetizo que el rendimiento de los cultivos de alta dependencia de polinizadores es más sensible a la calidad del servicio de polinización que los menos dependientes y por eso espero que estos cultivos se vean más beneficiados por prácticas de manejo de bajo impacto ambiental (e.g. orgánico). En consecuencia, predigo un incremento en el rendimiento de los cultivos orgánicos, y por lo tanto una disminución de la brecha de rendimientos respecto del manejo convencional, conforme aumenta la dependencia de los cultivos a la polinización animal.

En este proyecto me propongo efectuar un meta-análisis sobre una compilación de estudios que comparan el rendimiento de cultivos orgánicos y convencionales con distinto grado de dependencia a polinización animal. Mi objetivo es identificar si el menor impacto sobre las poblaciones de artrópodos asociado a las prácticas de cultivo orgánicas incrementa el rendimiento de los cultivos con altos grados de dependencia de la polinización animal respecto de sus contrapartes convencionales.

Materiales y métodos

Como este trabajo se centra en comparar los rendimientos de cultivos orgánicos y convencionales es importante definir primero ambas formas de agricultura, lo que puede ser problemático dado que lo que califica como “cultivo orgánico” varía según región y puede tener diferentes definiciones coloquiales y legales (USDA, n.d.). En este proyecto se adopta la definición de la FAO de la agricultura orgánica, la cual la describe como: “La agricultura orgánica es un sistema de producción agrícola holístico que promueve y mejora la salud de los agroecosistemas, incluyendo biodiversidad, ciclos biológicos y la actividad biológica de los suelos. Esta forma de agricultura enfatiza el uso de prácticas administrativas que consideren el espacio más allá de los límites de la granja, y que tengan en cuenta que las condiciones regionales requieren de sistemas localmente adaptados. Esto se consigue, cuando es posible, mediante métodos agronómicos, biológicos y mecánicos, en contraste con el uso de materiales sintéticos para cumplir funciones dentro del sistema.” (FAO/WHO, 1999).

Definir agricultura convencional es aún más difícil que definir la orgánica. En general la palabra “convencional” se emplea en discusiones de agricultura para referirse a “la otra”, como oposición. En el contexto de la agricultura orgánica, la agricultura “convencional” sería todo lo que no es agricultura orgánica, lo que resulta problemático porque se homogenizan innumerables formas de agricultura bajo el paraguas “convencional” dificultando el análisis y la contrastación entre prácticas agrícolas (Sumberg, 2022). En este trabajo se adopta la siguiente definición generalizada de agricultura convencional: la agricultura convencional es un sistema de producción agrícola no-orgánico compuesto por las prácticas de cultivo más difundidas por el mundo y que son empleadas a escala industrial. Esta forma de agricultura se enfoca en maximizar el rendimiento de los cultivos, lo que usualmente implica el uso de maquinaria agrícola, semillas mejoradas genéticamente, y agroquímicos mayormente de origen sintético. En síntesis, defino a la agricultura convencional como la agricultura industrial que no es orgánica. Un análisis y

comparación más detallado de la agricultura convencional, la agricultura orgánica y sus prácticas puede hallarse en el **Apéndice I**.

Con el fin de estudiar la relación entre el rendimiento relativo de los cultivos orgánicos y convencionales, y su relación con la dependencia de polinizadores, se efectuó un meta-análisis. Para ello se utilizaron dos bases de datos de acceso libre, pertenecientes a los trabajos de Ponisio et al. (2015) y Aizen et al (2022). Ponisio et al. (2015) es un estudio de meta-análisis que compila 115 estudios independientes que incluyen un total de 1071 comparaciones de rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales para 53 cultivos. Ponisio et al. construyó esta base de datos a través de una búsqueda bibliográfica exhaustiva de estudios de rendimiento comparado entre cultivos orgánicos y convencionales. La búsqueda la realizó a través de los motores de búsqueda: “Google Search”, “Web of Science”, “Google Scholar” y “Academic Compete Search” incorporando los términos “organic” o “ecological” y el término “agriculture”, “farming”, “production” o “cropping” en combinación con términos iguales o similares a los términos “yield” y “compare”. Ponisio et al. (2015) excluyeron comparaciones entre cultivos no mejorados y mejorados, y comparaciones entre rendimientos calculados en años diferentes. Cuando las publicaciones no incluyeron datos de varianza, Ponisio et al. (2015) obtuvieron los datos del autor original o, para estudios en los cuales había datos para múltiples años, calculó las medias y varianzas como la media a través de los años. Además de la variable de la brecha de rendimiento entre cultivos de tipo orgánico y convencional y su varianza, esta base de datos incluye también una gran cantidad de factores relevantes para este proyecto como lo son datos de calidad del suelo, tipo de arado empleado, forma de vida del cultivo, la franja latitudinal donde el estudio fue efectuado, entre otros. En ese trabajo se analizó y descartó posibles sesgos de publicación (Ponisio et al., 2015).

La segunda base de datos empleada, perteneciente al estudio de Aizen et al. (2022), se trata de una versión actualizada y expandida de la tabla de especies de cultivo y sus dependencias de polinizadores construida originalmente por Klein et al. (2007), la cual asigna un grado de dependencia de polinizadores a los 144 cultivos más comunes. Este factor de dependencia

de polinizadores consiste en un puntaje que toma valores numéricos enteros entre cero y cuatro, donde cero corresponde a una absoluta independencia de polinizadores (la presencia de polinizadores no afecta el rendimiento ni la calidad del cultivo), “4” corresponde a dependencia total o casi total de polinizadores (el cultivo no produce frutos/semillas en ausencia de polinizadores o sufre reducciones de su rendimiento $\geq 90\%$) y los valores “1”, “2” y “3” corresponden a niveles intermedios crecientes de dependencia, es decir, cultivos que sufren reducciones en sus rendimientos del >0 al $<10\%$, del 10 a $<40\%$ y del 40 al $<90\%$, respectivamente. Los cultivos presentes en la base de datos de Ponisio et al. (2015) pero ausentes en la base de datos de Aizen et al. (2022) no fueron incluidos en la base de datos combinada. En total, la base combinada incluye 754 comparaciones de cultivos en la categoría de dependencia 0, 109 en la 1, 147 en la 2, 32 en la 3, y 19 en la 4. Es importante destacar que no todas las especies cultivadas tienen como producto final frutos o semillas, sino que algunos son cultivados por sus hojas, raíces y otros cuerpos vegetativos. Por esta razón, a estos cultivos se les asignó un puntaje de dependencia de polinizadores de cero, debido a que el producto del cultivo no está relacionado a frutos ni semillas por lo que los servicios de polinización no deberían tener ningún impacto en el rendimiento de la planta. Sin embargo, al asignar a estas especies un puntaje de dependencia de cero, la base de datos quedó altamente desbalanceada con un alto número de datos para la categoría 0 ($n=754$). Como precaución se analizó una segunda base de datos en la que excluí a todos los cultivos cuyo producto final no fuesen frutos o semillas (34 cultivos, y 878 datos) por si esta sobre-representación distorsionaba los resultados del análisis estadístico. Los cultivos y el número de datos incluidos en la base de datos completa se hallan listados en el **Apéndice II**.

A continuación, a partir de estas dos bases de datos, se construyeron múltiples modelos meta-analíticos mixtos poniendo a prueba el efecto de la dependencia de polinizadores sobre la brecha de rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales. Todos los modelos incluyen como variable respuesta la brecha de rendimiento entre el cultivo convencional y orgánico

estimado como el logaritmo natural de la razón, $\ln(\text{Convencional/Orgánico})$ (ver Hedges et al., 1999), y como variable predictora focal el nivel de dependencia de polinizadores para cada cultivo (i.e., variable categórica con cinco niveles, no dependiente=nivel 0, dependencia baja=nivel 1, moderada=nivel 2, alta=nivel 3, y extrema=nivel 4). Debido a que muchos datos provienen de un mismo estudio y/o cultivos (i.e., pseudorreplicación), los modelos incluyeron los siguientes factores aleatorios anidados: la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación.

Puesto que estudios previos han identificado distintos factores que afectan el rendimiento de los cultivos orgánicos relativo al de los convencionales (Ponisio et al., 2015; Seufert et al., 2012), los modelos incluyeron un segundo factor fijo adicional (“moderadores” en el lenguaje de meta-análisis) asociado al rendimiento diferencial entre cultivos orgánicos y convencionales por literatura previa, con el fin de aislar el efecto de la dependencia de polinizadores de la influencia de otros factores potencialmente asociados. Estos factores fueron: la forma de vida de la especie estudiada (hierba, árbol, o arbusto), la longevidad de la planta (anual vs. perenne), si la planta se trataba de una leguminosa o no, si los cultivos fueron irrigados o no, la diversidad de los cultivos comparada (mono vs. policultivo), si se practicaba rotación de cultivos, y los niveles de nitrógeno en suelo en forma comparada. También se estudió el efecto de la latitud sobre la brecha de rendimiento de los cultivos dado que la relación que existe entre la abundancia y diversidad de insectos y la latitud (Schemske et al., 2009), podría sesgar el efecto del factor de dependencia de polinizadores. Para este factor se consideraron tres niveles (templado, subtropical, tropical).

Para una mejor organización, se le asignó a cada modelo un código numérico de dos cifras, la primera cifra corresponde a si fue ejecutado sobre la base de datos combinada completa [0] o la reducida [1]; y el segundo número al segundo factor fijo incluido en el modelo. Estos factores secundarios son: ninguno [1], forma de vida [2], longevidad [3], latitud [4], leguminosa [5], irrigación [6], diversidad del cultivo [7], rotación de cultivos [8] y niveles de

nitrógeno [9]. Por ejemplo, bajo esta nomenclatura el modelo construido sobre la base completa que tiene como moderadores dependencia de polinizadores y longevidad de la planta cultivada se llama “modelo 0-3” mientras que el que fue construido sobre la base reducida y solo tiene como moderador la dependencia de polinizadores es el “modelo 1-1”.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo siguiendo un enfoque de meta-análisis jerárquico mediante el programa R (R Core team, 2022) usando la función “rma.mv” del paquete “metafor” (Viechtbauer & Viechtbauer, 2015). Para una mejor comprensión, los resultados en forma gráfica se presentan como cambio o incremento porcentual de la agricultura convencional sobre la orgánica [i.e., $100 * (\exp(\text{Convencional/Orgánico}) - 1)$]. Los efectos de los moderadores, los factores aleatorios y la heterogeneidad de los modelos fueron evaluados mediante el estadístico meta-analítico Q (Hedges et al., 1999).

Por último, se evaluó si el resultado del meta-análisis de la dependencia de polinizadores podría estar sesgado por no considerar las relaciones filogenéticas entre las especies cultivadas (Revell, 2010). Para esto se construyó una matriz de distancias filogenéticas para las especies de cultivos presentes en la base de datos mediante el paquete “APE” para R (R Core team, 2022) empleando la filogenia de plantas vasculares “GBOTB” de Smith & Brown (2018) y siguiendo los lineamientos de Gleiser et al. (2021). La existencia de un patrón filogenético en los residuos del modelo principal, promediado por cultivo fue estimada mediante el índice K de Blomberg que varía entre 0, en ausencia de contagio filogenético, a 1, cuando la divergencia filogenética sigue un modelo de evolución Browniano (Blomberg et al., 2003).

Resultados

Un primer meta-análisis que solo incluyó un intercepto (i.e., sin moderadores) reveló que la brecha productiva promedio entre la agricultura convencional y la orgánica es de 25.5%, con un intervalo de confianza del 95% (CI95%) que va desde el 17.4 al 34.1%. La varianza entre cultivos fue de 0.0196, entre estudios dentro de cultivos de 0.0433, y entre comparaciones dentro de estudio de 0.0765. Esto se traduce en porcentajes de partición de varianza de 14.1, 31.1, y 54.9%, respectivamente.

Encontré evidencia que la dependencia de polinizadores por sí sola explica alrededor de un 37% de la varianza entre cultivos en su brecha de rendimiento. La brecha del rendimiento entre la agricultura orgánica y la convencional se reduce conforme aumenta la dependencia de polinizadores del cultivo, más marcadamente cuando la dependencia comienza a ser alta (categorías 3 y 4; Figura 1). Mientras que el rendimiento de un cultivo convencional no dependiente de polinizadores es un **32,0%** (CI95%= [22,4%; 42,3%]; $p < 0.0001$) superior al de un cultivo orgánico, el rendimiento de un cultivo convencional completamente dependiente de polinizadores es un **-12,5%** (CI95%=[-32,6%, 13,5%]; $p = 0.3136$) inferior al de un cultivo orgánico (ver **Figura 1** y **Tabla 1**). Esto significa que para cultivos completamente dependientes de polinizadores el rendimiento de la agricultura orgánica no es significativamente diferente al rendimiento de la agricultura convencional (i.e., el intervalo de confianza del 95% incluye al cero).

Tabla 1: Estimados del modelo 0-1 mixto efectuado sobre la base completa empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación o estudio de la que provienen los datos y las comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el $\ln(\text{conv}/\text{org})$.

Modelo 0-1: Base de datos completa						
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q= 10.3537 GL=4 p-val = 0.0349)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0)	754	0.2776	0.0383	0.2025	0.3527	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0672	0.1064	-0.2757	0.1414	0.5279
Dependencia 2	147	-0.0584	0.0881	-0.2312	0.1143	0.5073
Dependencia 3	32	-0.1803	0.1245	-0.4244	0.0638	0.1477
Dependencia 4	19	-0.4115	0.1383	-0.6826	-0.1405	0.0029
Heterogeneidad (Q=42355.0528, GL=1056, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	51	0.0122				
Estudio	192	0.0432				
Replica	1061	0.0766				

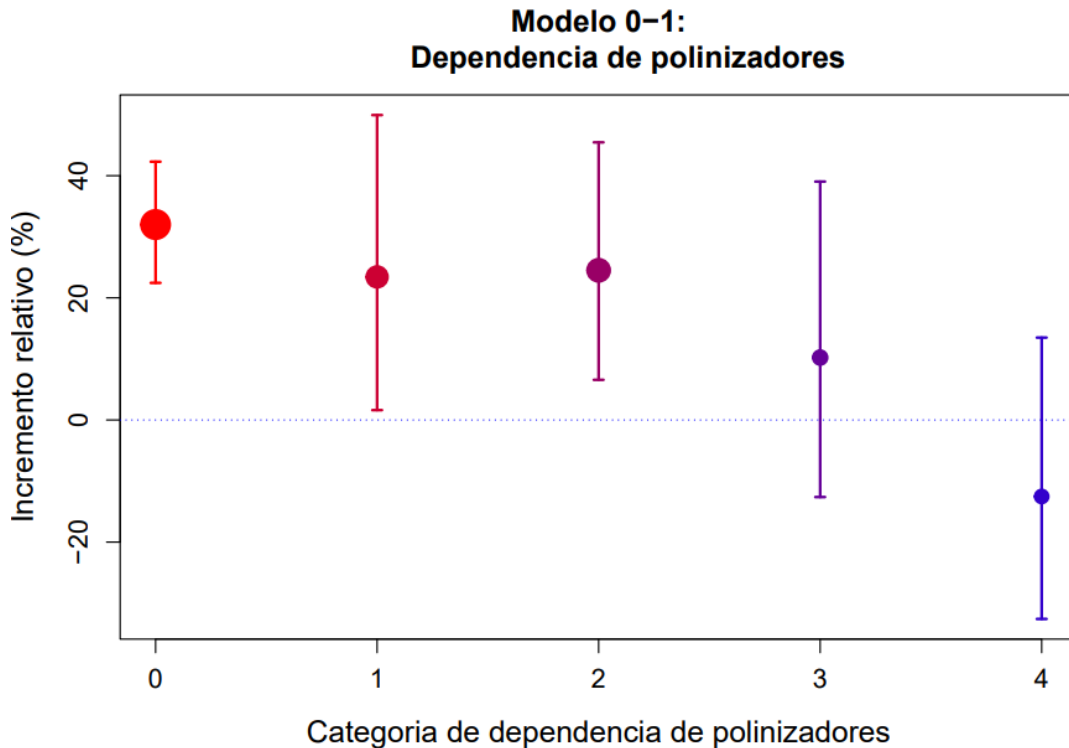


Figura 1: Efecto estimado de acuerdo al modelo 0-1 del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv}/\text{org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

No hubo evidencia de que esta tendencia puede estar sesgada o sobrevaluada por no haber considerado las relaciones filogenéticas entre las especies (K de Blomberg= 0.246, P=0.52). Además, la reducción en la brecha de rendimientos conforme aumenta la dependencia de polinizadores pudo observarse en todos los modelos independientemente de los otros factores incluidos (**Figuras S1-S8, Tablas S1-S8**). De esta forma, este patrón de decrecimiento parece ser robusto, y mantenerse, cuando se consideraron otros co-factores potencialmente asociados a esta dependencia.

En relación a los moderadores adicionales incluidos, no se halló evidencia de que exista una diferencia de rendimiento entre leguminosas y no-leguminosas, o en función de la forma de vida del cultivo, la longevidad del cultivo, la diversidad del cultivo, si se practicaba rotación de cultivos o si los campos fueron irrigados. Además de la dependencia, sólo dos factores probaron tener un efecto significativo sobre la brecha de rendimiento con un p-valor < 0.05: los niveles de nitrógeno en suelo y la latitud (ver **Tablas S3 y S8**). En el caso del nitrógeno, se observó que la brecha de rendimiento se exacerbaba cuando la cantidad de nitrógeno en el suelo era mayor en la agricultura convencional que en la orgánica (**Tabla S8**). También se encontró que la brecha de rendimiento entre la agricultura convencional y orgánica se incrementa desde latitudes templadas a tropicales (**Tabla S3, Figura 2**)

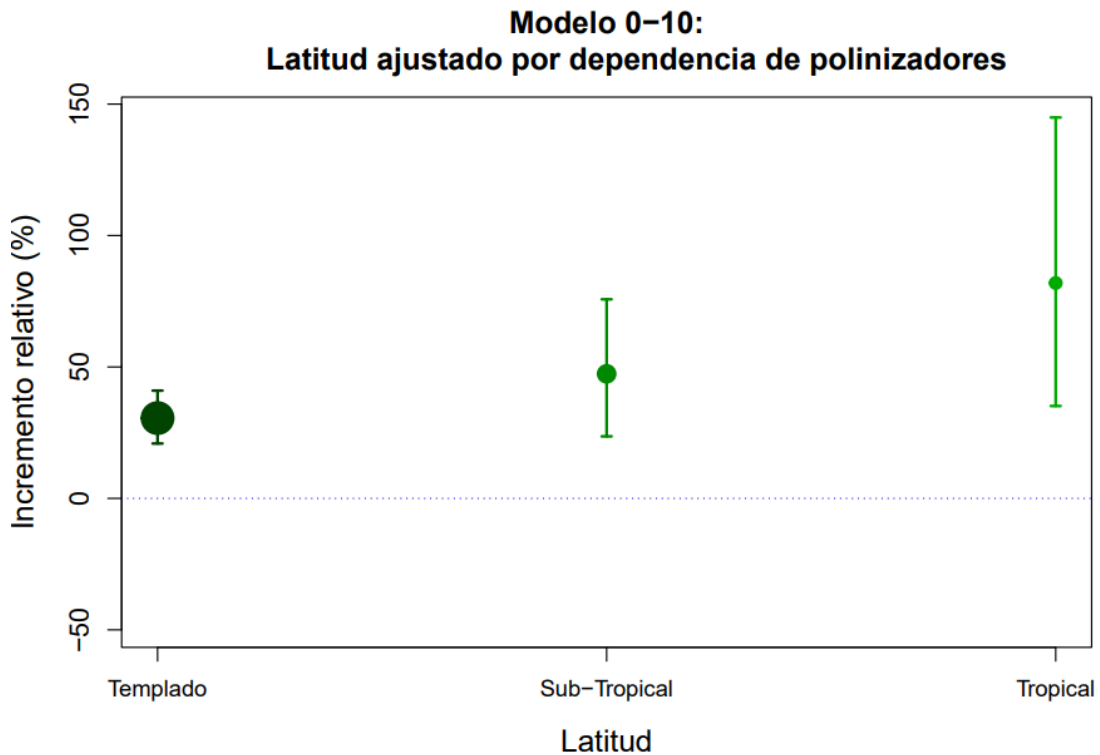


Figura 2: Efecto para el modelo 0-4 de la categoría de latitud (ajustado por la dependencia de polinizadores) sobre el cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$). Los puntos son los estimados para cada franja latitudinal y las barras los IC del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a esa latitud. El gradiente de colores corresponde a la latitud.

Finalmente, la tendencia a un decrecimiento de la brecha del rendimiento con un incremento de la dependencia de los polinizadores se observó, e incluso se acentuó, cuando el análisis se restringió a aquellos cultivos de los cuales se cosechan sus partes reproductivas (semillas y frutos) (**Figura 3, Tabla 2**). Nuevamente, esta tendencia se mantuvo cuando se incluyeron los distintos co-factores considerados en la base de datos completa (**Figura S9-S16, Tablas S1-S16**).

Tabla 2: Estimados del modelo 1-1 efectuado sobre la base reducida empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 1-1: Base de datos reducida							
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q=14.7383 GL=4 p-val = 0.0053)							
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls		Pval
Intercepto (Dependencia 0)	583	0.2844		0.0470	0.1923	0.3766	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0817		0.1035	-0.2847	0.1212	0.4301
Dependencia 2	147	-0.0723		0.0880	-0.2448	0.1001	0.4110
Dependencia 3	32	-0.1901		0.1236	-0.4324	0.0522	0.1241
Dependencia 4	19	-0.4202		0.1384	-0.6915	-0.1489	0.0024
Heterogeneidad (Q=26287.6256, GL=885, P<0001)							
Fuente	Tamaño muestral	Varianza					
Cultivo	36	0.0089					
Estudio	159	0.0429					
Replica	890	0.0804					

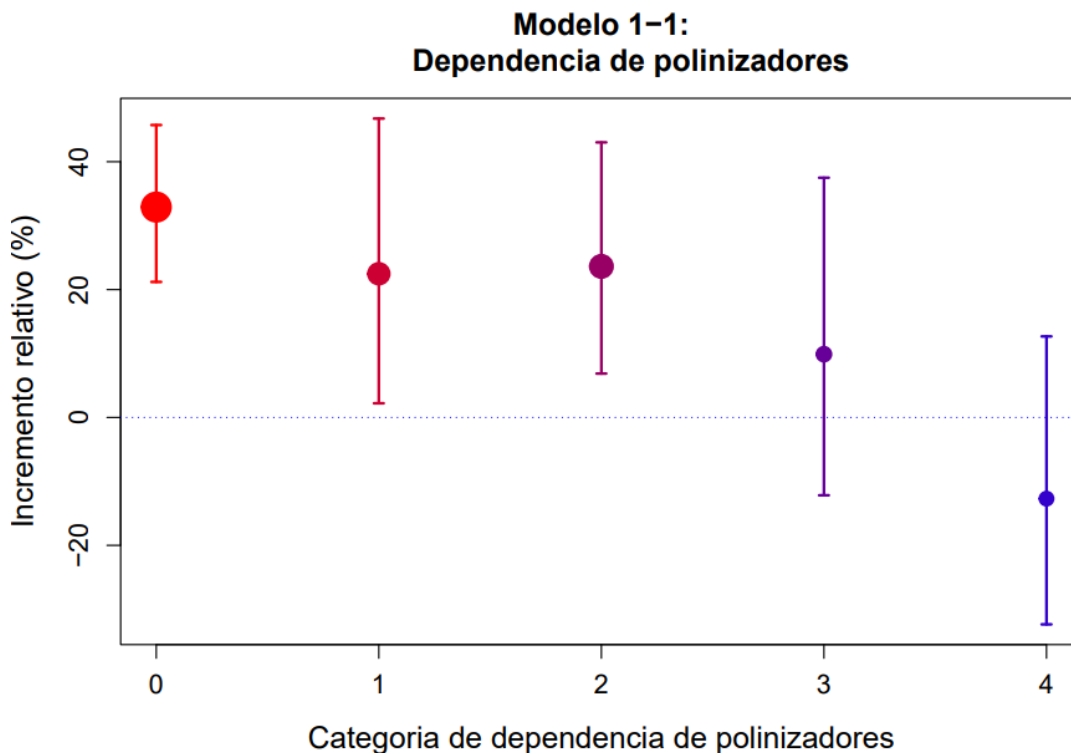


Figura 3: Efecto estimado de acuerdo al modelo 1-1 del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

Discusión

Posiblemente uno de los mayores desafíos de la agricultura moderna es reconciliar la creciente demanda de alimentos, y otros productos, con la necesidad de mitigar su impacto ambiental. Esta dicotomía está muy presente en discusiones sobre la agricultura orgánica, cuyas prácticas, pese a ser más ambientalmente amigables que sus contrapartes convencionales, ven su viabilidad limitada por su bajo rendimiento. Sin embargo, el rendimiento de los cultivos orgánicos altamente dependiente de polinizadores podría verse incrementado como consecuencia de su bajo impacto ecológico. En general la adopción de prácticas de bajo impacto ecológico permiten preservar los hábitats de polinizadores silvestres dentro de los márgenes o en la periferia de los cultivos, lo que permite a su vez preservar servicios de polinización que estos proveen (Ricketts et al., 2008). Los polinizadores silvestres son capaces de polinizar cultivos efectivamente (Hipólito et al., 2018; Lichtenberg et al., 2017; Ricketts, 2004) y la calidad de los servicios de polinización que estos proveen superan, en muchos casos, a los que pueden proveer los polinizadores domésticos (Garibaldi et al., 2013; Osterman et al., 2021; Sáez, et al., 2022). Este manejo cuidadoso de los campos puede, en consecuencia, incrementar el rendimiento de los cultivos (Hipólito et al., 2018). Por el contrario, la implementación de prácticas agrícolas intensivas de alto rendimiento puede fallar en incrementar el rendimiento de cultivos altamente o totalmente dependientes de polinizadores como consecuencia de su alto impacto sobre las poblaciones de polinizadores silvestres (Deguines et al., 2014).

En este proyecto se predijo que, si la agricultura orgánica se beneficia de servicios de polinización como consecuencia de su bajo impacto ecológico, debería observarse entonces una reducción en la brecha de rendimientos entre cultivos orgánicos y convencionales para cultivos altamente dependientes de polinizadores. Los resultados coinciden con la predicción realizada, e independientemente de los moderadores secundarios incluidos en los modelos, se observó una reducción en la brecha de rendimientos en función de la

dependencia de polinizadores del cultivo hasta el punto de volverse insignificante o incluso levemente negativa para las especies de máxima dependencia (**Figura 1**). Estos resultados corroboran la hipótesis propuesta y sugieren que, para cultivos de alta dependencia de polinizadores, la efectividad de los métodos agrícolas orgánicos es comparable a la de los convencionales. Es más, para cultivos de máxima dependencia de polinizadores la brecha de rendimientos parece invertirse, lo que sugiere que los cultivos orgánicos altamente dependientes de polinizadores presentan rendimientos superiores al de sus contrapartes convencionales. Sin embargo, debido a la marcada amplitud de los intervalos de confianza para el rendimiento calculado no es posible afirmar esto con un suficiente grado de certeza. La agricultura orgánica, por lo tanto, podría ser una alternativa viable, e incluso preferible, a la agricultura convencional para cultivos de alta dependencia de polinizadores.

La preservación de los polinizadores silvestres en zonas de cultivo puede tener otros beneficios además de los productivos. Para empezar, los cultivos pueden actuar a modo de reservorios de insectos silvestres y servir de fuente de alimento para polinizadores en ausencia de flores silvestres (Westphal et al., 2003). Dado que uno de los factores asociados al declive global de polinizadores es la pérdida de recursos florales debido al declive en diversidad de plantas silvestres con flor (Potts et al., 2010), la adopción de prácticas orgánicas podría contribuir a la preservación de la biodiversidad de polinizadores. Por otro lado, la preservación de insectos polinizadores ayudaría a su vez a preservar los ecosistemas en la periferia del cultivo dado que cerca del 80% de todas las especies de plantas silvestres dependen de la polinización por insectos para reproducirse y pueden verse amenazados por su ausencia (Ashman et al., 2004).

Otro ángulo por el cual podría considerarse beneficioso la preservación de polinizadores silvestres dentro de los campos es la independización de los cultivos a los servicios de las abejas domésticas. La crianza, comercio y exportación de abejas domésticas (e.g. *Apis*, *Bombus*, *Megachile*, entre otras) es una práctica de alto riesgo ecológico y ha dado lugar a invasiones biológicas y el desplazamiento y extinción de abejas nativas por todo el mundo (Lohrmann

et al., 2022). Por estas razones, valerse de polinizadores silvestres en lugar de abejas domésticas para polinizar cultivos, representa otra forma en la que las prácticas orgánicas minimizan el impacto ecológico de la agricultura. A todo esto, no he mencionado el posible beneficio económico de emplear abejas silvestres cuyos servicios de polinización son “gratis” a diferencia de los provistos por las abejas domésticas cuyas colmenas y colonias deben criarse, comprarse o alquilarse.

Comparando el presente estudio con estudios de meta-análisis previos, en este trabajo se estimó que la brecha promedio entre la agricultura convencional y la orgánica es aproximadamente un 25.5% (CI95%: 17.4 - 34.1%). Este resultado es muy similar al obtenido por Ponisio et al. (2015) donde calculó que la brecha era de un 23,8% (CI95%: 18.3% - 29.7%). Si bien la similitud de resultados es esperada dado que utilicé la misma base de datos que estos autores, mi análisis consideró una estructura aleatoria diferente a la empleada por Ponisio et al. (2015), que se ajusta efectivamente a los datos y que minimiza los problemas de pseudorreplicación y de posibles sesgos en esta estimación. Sin embargo, un resultado aún más interesante que los puntos de coincidencia con otros trabajos son el número elevado de factores que estudios previos han determinado que afectan el rendimiento relativo de los cultivos orgánicos y que, no obstante, al incluir la dependencia de polinizadores en el análisis perdieron todo su poder explicativo. Por ejemplo, no hallé evidencia de una diferencia en el rendimiento de leguminosas vs. no-leguminosas (ver **Tabla S4** y **S12**), o en función de la forma de vida del cultivo (ver **Tabla S1** y **S9**), la longevidad del cultivo (ver **Tabla S2** y **S10**) o si los campos fueron irrigados (ver **Tabla S5** y **S13**), lo que no concuerda con los resultados de Seufert et al. (2012) pero coincide con los resultados obtenidos por Ponisio et al. (2015). Sin embargo, a diferencia de Ponisio et al. (2015), al incluir en el análisis la dependencia de polinizadores del cultivo como moderador, no encontré un efecto significativo en las prácticas de rotación de cultivos y la diversidad de cultivos en el rendimiento relativo de los cultivos orgánicos. Esto se debe, posiblemente, a que la dependencia de polinizadores puede estar asociada a los factores mencionados en el párrafo anterior, y al introducir la dependencia como factor pudo aislarse su efecto.

Otro resultado llamativo es el efecto hallado de la latitud sobre la brecha de rendimientos, y es que el rendimiento relativo de los cultivos orgánicos es mayor para latitudes templadas que en latitudes tropicales, un efecto que no fue observado por Ponisio et al. (2015). Esto puede deberse a que todas las comparaciones de cultivos de máxima dependencia de polinizadores fueron realizadas en latitudes templadas (**Tabla S17**), por lo que la brecha de rendimientos media para dicha latitud es más reducida que para las demás. Sin embargo, en mi trabajo, al incluir ambos moderadores en el mismo análisis se controló por este potencial efecto confundido. Dado que los cultivos tropicales son más susceptibles a perder servicios de polinización silvestre por pérdida de hábitat (Ricketts et al., 2008) también es posible que en climas tropicales los métodos orgánicos no sean lo suficientemente ecológicamente amigables cómo prevenir la pérdida de servicios de polinización silvestres. Una tercera explicación es que, dado que en regiones tropicales la densidad de insectos y de interacciones bióticas en que estos están involucrados es posiblemente mayor que en regiones templadas (Schemske et al., 2009), la pérdida de rendimiento por herbivoría de insectos sobrepase la ganancia de rendimiento por acción de polinizadores en ausencia de pesticidas. Para resolver esta incógnita se requeriría ampliar la base de datos para incluir un mayor número de comparaciones entre cultivos de alta dependencia para climas tropicales.

Una limitante de este estudio es el número reducido de datos correspondientes a cultivos de máxima dependencia. Por ejemplo, de las 51 especies de cultivo estudiadas sólo cinco son absolutamente dependientes de polinizadores, y los cultivos de este tipo constituyen sólo 19 de las 1061 comparaciones de rendimiento entre cultivos en la base de datos (**Tabla S17**). Un mayor número de datos para cultivos con dependencias de grado dos, tres y cuatro permitiría determinar con mayor certeza si el rendimiento de los cultivos orgánicos de alta dependencia de polinizadores supera al de los cultivos convencionales. Futuros seguimientos a este estudio se deben concentrar en expandir la base de datos e incluir un mayor número de especies altamente dependientes de polinizadores.

La demanda de cultivos altamente dependientes de polinizadores está creciendo a una tasa mayor que la de los cultivos no dependientes (Aizen et al., 2009). Al mismo tiempo, la diversidad global de polinizadores silvestres está en declive (Gibbs et al., 2009; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019), lo que implica que la demanda agrícola por servicios de polinización se incrementará en el futuro. Una mayor dependencia en el uso de polinizadores domésticos podría conllevar una reducción marcada en el rendimiento general de la agricultura debido a un declive en la calidad de los servicios de polinización (Garibaldi et al., 2013; Osterman et al., 2021; Sáez, et al., 2022), y un incremento del impacto ambiental agrícola debido al impacto ecológico asociado a la crianza y comercialización de abejas domésticas (Lohrmann et al., 2022). Esto podría representar un punto de crisis para la agricultura, y una oportunidad de transicionar hacia un manejo agrícola más orgánico. Como he probado en este trabajo, las prácticas orgánicas son ideales para el cultivo de especies vegetales altamente dependientes de polinizadores. En particular, la agricultura orgánica podría ser el sistema de producción ideal para satisfacer las demandas agrícolas del futuro de este tipo de cultivo con alto valor de mercado (Gallai et al., 2009), mitigando a su vez el impacto ambiental de la actividad y contribuyendo a la preservación de polinizadores silvestres.

Conclusión

La agricultura que hoy se practica por el mundo es resultado de grandes presiones económicas por cumplir cuotas, maximizar ganancias y reducir fluctuaciones en la producción, y aunque esto ha creado una industria relativamente eficiente, también es una industria que le teme al riesgo y en consecuencia al cambio. Puede que en comparación con las prácticas agrícolas convencionales, producto de siglos de avances técnicos y tecnológicos, las prácticas agrícolas orgánicas parezcan arcaicas y primitivas. Sin embargo, estas prácticas tan simples, a veces muestran resultados productivos muy semejantes al de sus alternativas convencionales. Esto revela un aspecto interesante de la agricultura convencional, y es que pese a que se promueven las prácticas convencionales por su efectividad, su disponibilidad o su reducido coste económico, puede ser que también éstas se adopten y perpetúen por dogma, mito e imitación. El surgimiento de la agricultura orgánica ha demostrado, como mínimo, que merece la pena reevaluar la eficacia de métodos de cultivo abandonados o calificados como obsoletos por la agricultura comercial. Este trabajo provee evidencia de que existen al menos algunos escenarios puntuales donde el rendimiento de la agricultura orgánica puede igualar, y quizá hasta sobrepasar al rendimiento de la agricultura convencional. Quizá, es momento de abandonar la mentalidad antagonista donde se confrontan ambos tipos de agricultura y se espera que al final sólo una prevalezca. La verdadera pregunta no debería ser “cuál forma de agricultura es superior”, sino “bajo qué circunstancias es conveniente emplear cada una”.

Agradecimientos

Encontrar el camino no siempre es fácil, uno deambula por la vida buscando un destino, un llamado, y muchas veces se acaba caminando en círculos. A veces uno necesita un empujón hacia el frente para llegar a nuestro destino, y a veces ser empujado a un lado para cambiar de carril.

Quiero agradecer a quienes me ayudaron en momentos de gran incertidumbre y angustia. Agradezco primero a mis padres por todo, realmente quiero decir TODO, por su apoyo, su guía y ayuda. A mi hermano Marco por estar siempre cerca a pesar de la distancia. A mi amiga Fabiana por haberme dado el empujón que necesitaba para cambiar el rumbo de mi vida hacia la biología. A mis amigos Guido, Nora y Maxi por el obsequio de su amistad, quienes hicieron del pasar del tiempo algo hermoso. Quiero agradecer también a Camila, el amor de mi vida, por su paciencia, amor infinito y la felicidad que compartimos. No puede faltar el agradecimiento a mis directores, Agustín y Carolina, por su tutoría y participación en la construcción de este trabajo, a Claudia, por haberme guiado por los laberintos burocráticos académicos, y a Marina y Carolina, por haberme considerado para la beca que me permitió llevar a cabo este proyecto y familiarizarme con la estadística necesaria para realizar un meta-análisis. Agradezco a todos los docentes que me inspiraron durante mi travesía universitaria, a la educación pública y también a todo argentino que alguna vez pagó un impuesto, les debo mi formación académica.

Por último, agradezco a mi yo del pasado por todo su sacrificio y esfuerzo, sin él no estaría donde estoy ahora, cosechando el fruto de años de estudio. ¡Gracias Nahu!

Apéndices

Apéndice I - Comparando la agricultura orgánica y convencional en función de su impacto ecológico

La agricultura convencional es una forma de agricultura basada en el uso de técnicas, tecnologías y estrategias agrícolas que priorizan maximizar los niveles de productividad de los cultivos y minimizar el costo y riesgo económico de la actividad. Esta forma de agricultura es en gran parte resultado de la llamada “revolución verde”, un periodo entre 1960 y 1980 donde se experimentó, a nivel global, un incremento muy marcado en la producción agrícola como resultado de la adopción extendida de prácticas agrarias de alto rendimiento (Pingali, 2012). Entre estos métodos se destaca el uso intensivo de fertilizantes sintéticos, agroquímicos, cultivos genéticamente modificados y maquinaria (Pingali, 2012). Esta iniciativa fue promovida por el agrónomo norteamericano Norman Borlaug con la asistencia de varias organizaciones agrícolas internacionales, y tuvo como objetivo mejorar el rendimiento de campos poco productivos, en especial, en países subdesarrollados. La “revolución verde” tuvo éxito en su objetivo, sin embargo, debido a su enfoque productivo, muchas de las prácticas promovidas por esta iniciativa tienen un alto impacto ambiental (Pimentel & Pimentel, 1990).

En contraste, la “agricultura orgánica” tuvo su origen entre los años 1930 y 1940 como una alternativa a la intensificación de las prácticas agrícolas que surgieron en aquella época (Lotter, 2003). Este tipo de agricultura promueve una colección de prácticas y posturas de cultivo “naturales” con el fin de minimizar el impacto ambiental de la actividad agrícola, entre estas un repudio al uso de agroquímicos industriales (Lotter, 2003). En lugar de estas sustancias sintéticas los agricultores orgánicos se valen de repelentes y herbicidas de

origen orgánico (agua oxigenada, vinagre, etc.), de métodos de remoción manual de insectos y hierbas para proteger sus cultivos o simplemente de tolerar la pérdida de producto debido a la presencia de insectos y plantas indeseadas (eCFR, n.d.; Lotter, 2003). Como consecuencia de estas prácticas, los cultivos orgánicos tienden a presentar un menor rendimiento general que cultivos convencionales acompañado de un menor impacto ambiental por unidad de tierra cultivada (Badgley et al., 2007; De Ponti et al., 2012; Ponisio et al., 2015; Seufert et al., 2012; Stanhill, 1990). Adicionalmente los cultivos orgánicos presentan una mayor diversidad y abundancia de insectos y hierbas silvestres coexistiendo con el cultivo (Lichtenberg et al., 2017). Aunque la presencia de estas especies no deseadas es vista convencionalmente como un problema para el agricultor, estas pueden, en ciertos casos, serles beneficiosos al cultivo. Los cinco puntos clave en los que difieren la agricultura convencional y la orgánica, incluyendo sus respectivos impactos ambientales, son los siguientes:

En el uso de herbicidas: En la agricultura convencional los herbicidas son empleados con el objetivo de erradicar especies vegetales no deseadas que puedan crecer junto a la especie de cultivo. Estas plantas no deseadas, o malezas como son llamadas coloquialmente, pueden competir por recursos con los cultivos (luz, nutrientes, espacio, agua, etc) reduciendo su aptitud y rendimiento, dificultando la cosecha de este o contaminando el producto cosechado (Gallandt & Weiner, 2015). Sin embargo, con el tiempo, las malezas pueden desarrollar resistencia a los herbicidas demandando el desarrollo de nuevos venenos más potentes. El glifosato es, actualmente, el herbicida más usado en el mundo, se trata de un agroquímico que interfiere con la fabricación de aminoácidos en las plantas lo que lo convierte en un herbicida universal (Duke, 2018). Cabe destacar que sólo los cultivos modificados genéticamente para emplear aminoácidos alternativos pueden sobrevivir al glifosato (Duke, 2018). Aún así, pese a su eficacia, ya existen malezas que han desarrollado naturalmente resistencia al glifosato (Duke, 2018).

El principal riesgo ambiental asociado al uso de herbicidas es que su impacto puede extenderse, por “deriva” más allá de los límites de los cultivos

(EPA, n.d.; Reichenberger et al., 2007). El viento puede esparcir los pesticidas cuando estos son rociados sobre los campos, y el agua de lluvia y riego pueden arrastrarlos hacia cauces fluviales o filtrarlos a través del suelo hasta alcanzar napas de agua subterráneas. De esta forma el herbicida puede esparcirse sobre grandes extensiones de terreno más allá de los límites espaciales del cultivo, erradicando de forma colateral plantas silvestres, contaminando reservas de agua potable y degradando ecosistemas terrestres y acuáticos (EPA, n.d.; Reichenberger et al., 2007). Los herbicidas también pueden representar un riesgo sanitario, la exposición en humanos a algunos herbicidas está relacionada con el desarrollo de linfomas, cánceres y otras enfermedades. El impacto que tiene la exposición al glifosato sobre la salud humana es sujeto de debate (Meftaul et al., 2020; Van Bruggen et al., 2018).

En lugar de los herbicidas sintéticos de alto rendimiento empleados por la agricultura convencional, la agricultura orgánica se vale herbicidas orgánicos (eCFR, n.d.), de la remoción manual de plantas (TNAU, n.d.), de la labranza de suelo, del manejo del banco de semillas, del uso de herbicidas “orgánicos” extraídos o manufacturados a partir de sustancias naturales, de la prevención de establecimiento de plantas indeseadas (TNAU, n.d.) y de la tolerancia a la presencia de estas plantas. Muchas de estas prácticas son preventivas y se basan en evitar introducir semillas extrañas al campo que podrían estar mezcladas con las semillas del cultivo u ocultas en los fertilizantes orgánicos (e.g. estiércol). Aún cuando se emplean herbicidas orgánicos, estos son, en general, más caros y menos efectivos que los convencionales dando lugar a una mayor presencia de plantas indeseadas en los campos orgánicos. La remoción manual de plantas y los métodos preventivos no tienen un impacto ambiental notable por fuera del campo de cultivo, mientras que el impacto de los herbicidas orgánicos se ve reducido, como mínimo, por su menor efectividad. Adicionalmente un productor orgánico puede rehusarse a practicar cualquier tipo de control de hierbas y tolerar la presencia de malezas en el cultivo. Como resultado de estas prácticas es común que los cultivos orgánicos coexistan con cierto número de especies malezas (Henckel et al., 2015) potencialmente reduciendo el rendimiento de los cultivos.

Por otro lado las malezas no siempre le son perjudiciales a los cultivos y a veces, incluso, mejoran las propiedades del suelo, incrementando su capacidad de retener agua, incrementando la disponibilidad de nutrientes, previniendo su erosión o mejorando su capacidad de secuestrar carbono (Blaix et al., 2018). Adicionalmente, las malezas pueden sustentar biodiversidad y favorecer el establecimiento de comunidades de artrópodos en los cultivos, los cuales pueden ofrecer servicios de polinización o servicios de control de plagas, minimizando la herbivoría sobre los cultivos (Blaix et al., 2018; Henckel, 2015).

En el uso de pesticidas: En la agricultura convencional se emplean pesticidas para erradicar animales, muchas veces insectos, que puedan depredar sobre los cultivos disminuyendo su rendimiento y/o la calidad del producto (Aktar et al., 2009; Sánchez-Bayo, 2021; Tudi et al., 2021). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la herbivoría es una de las mayores fuentes de pérdida de cultivos, y pese al uso difundido de pesticidas, todos los años hasta un 40% de la producción agrícola se pierde por depredación animal (FAO, 2021). Sin embargo, es importante destacar que los pesticidas comúnmente afectan a especies no-objetivo, incluyendo polinizadores y otros grupos que pueden ser beneficiosos o necesarios para el desarrollo del cultivo (Gill, 2014; Sánchez-Bayo, 2021). En ausencia de polinizadores silvestre los cultivos de alta dependencia de polinizadores requieren de la importación de colonias y colmenas de abejas y abejorros domésticos para brindar servicios de polinización (Meixner, 2010). No obstante, la suplantación de polinizadores silvestres por variedades domésticas puede ser perjudicial tanto para el cultivo como para el medio ambiente (Garibaldi et al., 2013; Lohrmann et al., 2022; Osterman et al., 2021; Sáez, et al., 2022). Los servicios de polinización provistos por las especies domésticas son muchas veces inferiores en calidad a los que proveen los polinizadores silvestres, y la importación de polinizadores domésticos puede introducir parásitos y enfermedades a las comunidades de insectos silvestres y/o dar lugar a invasiones biológicas. Otro problema con el uso de insecticidas es que, al igual

que con los herbicidas, el viento y el agua pueden transportar estas sustancias por largas distancias, impactando ecosistemas más allá de los límites del campo de cultivo (Aktar et al., 2009). Además, muchos insecticidas no se degradan con facilidad, y se acumulan a través de las redes tróficas en los tejidos animales, provocando efectos adversos en el largo plazo (Stickel, 1973). El uso de pesticidas en campos puede degradar severamente los ecosistemas silvestres y ha contribuido al declive global de insectos y una crisis mundial de polinizadores (Aktar et al., 2009). Aproximadamente 40% de todas las especies de insectos del mundo están en declive y la población global de insectos se reduce aproximadamente en un 2% anualmente (Rhodes, 2019).

Una alternativa a los pesticidas, a veces empleada en la agricultura convencional, es el uso de agentes de control biológico. Esta práctica consiste en liberar en el campo de cultivo animales predadores, muchas veces insectos parasitoides, para que parasiten o exterminen a las especies de insectos indeseadas. Los parasitoides en particular son insectos especialistas y normalmente solo son capaces de parasitar a un número limitado de especies de insectos huésped (Kruitwagen et al., 2018). Mediante el uso de parasitoides los agricultores pueden controlar poblaciones específicas de insectos sin poner en riesgo a todas las demás, minimizando el impacto ambiental del control de plagas. Esta estrategia se ve limitada por el repertorio limitado de parasitoides, simplemente no existe una especie de parasitoide para cada insecto herbívoro que podría atacar un cultivo.

En respuesta a la herbivoría, la agricultura orgánica se vale de la prevenir el establecimiento de pestes en los cultivos o de que estos alcancen masas críticas que puedan dañar al cultivo, de la remoción manual de insectos de los cultivos, del uso de insecticidas de origen natural, trampas de insectos o repelentes y del uso de controles biológicos (El-Shafie, 2020). Todos estos métodos tienen un impacto ecológico despreciable, comparado con el uso de pesticidas y/o son más precisos (afectan solo a las especies objetivo) pese a tener una menor efectividad. En consecuencia, los cultivos orgánicos coexisten con una mayor diversidad de insectos que los convencionales, incluyendo polinizadores (Montañez & Amarillo-Suárez, 2014). Cabe mencionar que

algunos cultivos orgánicos emplean pesticidas orgánicos, que pese a su carácter “orgánico” pueden tener un impacto ambiental comparable al de los convencionales (Bahlai et al., 2010).

En el uso de fertilizantes: En la agricultura el propósito de un fertilizante es proporcionar al cultivo nutrientes necesarios para su desarrollo mediante el enriquecimiento del suelo. En lo que respecta a este trabajo existen dos grandes categorías de fertilizantes, los sintéticos y los orgánicos. Los fertilizantes sintéticos son manufacturados a partir de la recolección de gases del aire, del petróleo y minerales por medio de síntesis química, mientras que los fertilizantes orgánicos son derivados de fuentes orgánicas naturales como microbios, desechos orgánicos, estiércol y guano (GeoPard Agriculture, n.d.; Gach, n.d.). Aunque en la agricultura convencional se emplean fertilizantes orgánicos, el uso de fertilizantes sintéticos está mucho más difundido debido a su bajo costo, fácil aplicación y efectividad. Por el contrario, la agricultura orgánica emplea exclusivamente alternativas orgánicas. Independientemente de su origen orgánico o sintético, la función de los fertilizantes es siempre la misma, enriquecer el suelo con nutrientes (nitrógeno principalmente y en menor medida pentóxido de fósforo y óxido de potasio) para favorecer el desarrollo de los cultivos, reponer la fertilidad del suelo y prevenir o posponer su agotamiento (Sharma & Chetani, 2017). El uso de fertilizantes es una práctica muy difundida a escala global y tan solo en el 2019 fueron empleados más de 190 millones de toneladas métricas de fertilizantes en la actividad agraria (FAO, 2019). Sin embargo, pese a que el objetivo del fertilizante es enriquecer el suelo, la mayoría de los nutrientes no se fijan a la tierra y, en el caso del nitrógeno, más de la mitad del nutriente depositado es arrastrado por las lluvias y agua de riego, contaminando ríos y otros cuerpos de agua, degradando ecosistemas acuáticos a través un proceso denominado eutrofización (Bennett et al., 2001; FAO, n.d.-a; Tilman, 1999). La acumulación de nitrógeno en cuerpos de agua favorece el crecimiento desmedido de algas sobre la superficie, privando de luz a las plantas y algas que crecen en el lecho acuático (Bennett et al., 2001; FAO, n.d.-a; Tilman, 1999). Sin acceso a la luz del sol las especies fotosintetizadoras del lecho acuático perecen y en consecuencia, el oxígeno en el agua, necesario para la respiración de peces y otras especies acuáticas, se

ve reducido. La eutrofización de cuerpos de agua puede llevar a la muerte ecológica de los sistemas acuáticos (Bennett et al., 2001; FAO, n.d.-a; Tilman, 1999). Adicionalmente, una parte sustancial de los fertilizantes que permanecen en el suelo son degradados por microbios, liberando a la atmósfera dióxido de nitrógeno, un potente gas de invernadero (Park et al., 2012). Aunque ambas formas de agricultura emplean fertilizantes, el enfoque de su uso suele ser notoriamente diferente. En la agricultura convencional los fertilizantes se emplean, principalmente, para maximizar el rendimiento de los cultivos mientras que la agricultura orgánica los emplea priorizando la preservación del suelo y la sustentabilidad del cultivo (FAO, n.d.-b; Reganold et al., 1987; Siegrist et al., 1998).

Comparar el impacto ecológico entre tipos de fertilizantes resulta particularmente difícil cuando se contempla los medios de su manufactura. En el caso de los fertilizantes sintéticos existe un costo ambiental significativo asociado a las fábricas que los producen y sus desechos. Análogamente, existe también un impacto ambiental asociado a la fabricación de fertilizantes orgánicos, asociado principalmente a la crianza de ganado del cual se cosecha estiércol, componente común de los fertilizantes orgánicos. Algunos autores señalan que la incorporación de este “costo ambiental” asociado a la manufactura de fertilizantes, normalmente ignorado en los estudios de rendimiento agrícola, convierten a la agricultura orgánica en la forma de agricultura de mayor impacto ambiental (Connor, 2018b; Kirchmann, 2019). Sin embargo, las formas de manufactura de los distintos tipos de fertilizantes y las formas en los que estos impactan al medio ambiente son marcadamente diferentes por lo que resulta difícil realizar comparaciones de impacto ambiental.

Sustitución de ecosistemas: La agricultura requiere, inevitablemente, ocupar espacio previamente ocupado por un hábitat natural, seminatural, o destinado a otra actividad. Consecuentemente, dada la naturaleza finita de la superficie terrestre, la expansión agraria resulta en la sustitución de ecosistemas silvestres por campos de cultivos. Esto no sólo afecta a las especies vegetales

sustituidas, una vez reemplazado un ecosistema, el nuevo campo de cultivo es incapaz de sostener la biodiversidad animal, fúngica y microbiótica previa (Foley et al., 2005). La muerte del ecosistema es total.

Aún sin considerar la demanda por la expansión agraria, existen fuertes incentivos para abandonar campos de cultivo ya establecidos y ocupar el terreno de ecosistemas silvestres. El suelo de un campo de cultivo puede agotarse de nutrientes o desertificarse volviéndolo inútil para la agricultura (Montgomery, 2007). Pese a que existen estrategias preventivas para evitar el agotamiento del suelo, como la rotación de cultivos, a veces resulta más sencillo y/o barato trasladar los cultivos por sobre ecosistemas silvestres y hacer uso de su tierra fértil hasta que ésta se agote nuevamente.

Para mitigar el impacto de la sustitución de ecosistemas, la agricultura orgánica se enfoca en incorporar prácticas de preservación de suelos y desarrollar estrategias de “integración” donde cultivos y ecosistemas silvestres puedan coexistir. Estas prácticas permiten al cultivo, idealmente, operar sobre un campo indefinidamente, sostener parte de la biodiversidad del ecosistema original y hacer innecesaria la expansión sobre nuevos terrenos (Reganold et al., 1987; Siegrist et al., 1998). Sin embargo, el bajo rendimiento medio de los cultivos orgánicos implica que, de querer igualar su producción a la de los cultivos convencionales, se debería cultivar sobre una mayor extensión de superficie contrarrestando sus beneficios ecológicos (Meemken & Qaim, 2018).

Emisión de gases de invernadero: Una cuarta parte de las emisiones de gases de invernadero producto de la actividad humana proviene del cultivo de alimentos. Una porción significativa de estos gases proviene de la energía necesaria para transporte y refrigeración de productos, la degradación de fertilizantes (Park et al., 2012), las emanaciones de ganado y la descomposición de materia orgánica. Pese a que se promueve a la agricultura orgánica como una posible forma de mitigar el calentamiento global, existe un gran debate respecto a cuál forma de agricultura tiene la menor tasa de

emisión de gases de invernadero y no existe un consenso sobre cuál método es recomendable para mitigar el cambio climático (Clark, 2020).

Apéndice II – Cultivos y tamaños muestrales

Lista de cultivos analizados en este trabajo, el número de comparaciones disponibles para cada uno, su dependencia de polinizadores, forma de vida, longevidad de la planta, y el órgano cosechado.

Cultivo	Tamaño muestral	Dependencia de polinizadores:	Forma de vida	Longevidad	Órgano cosechado
Acelga	1	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Ají	2	1	Arbusto	Anual	Reproductivo
Albaricoque	3	3	Árbol	Perenne	Reproductivo
Algodón	5	2	Arbusto	Perenne	Reproductivo
Arroz	10	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Arveja	1	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Avellana	1	0	Árbol	Perenne	Reproductivo
Avena	49	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Banana	1	0	Hierba	Perenne	Reproductivo
Batata	5	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Café	7	2	Árbol	Perenne	Reproductivo
Cártamo	3	1	Hierba	Anual	Reproductivo
Cebada	94	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Cebolla	10	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Centeno	24	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Coliflor	24	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Durazno	2	3	Árbol	Perenne	Reproductivo
Endivia	2	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Espinaca	34	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Frijol	15	1	Hierba	Anual	Reproductivo
Frutilla	16	2	Hierba	Perenne	Reproductivo
Girasol	3	2	Hierba	Anual	Reproductivo
Higo	3	2	Árbol	Perenne	Reproductivo
Hinojo	4	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Kiwi	2	4	Arbusto	Perenne	Reproductivo

Cultivo	Tamaño muestral	Dependencia de polinizadores:	Forma de vida	Longevidad	Órgano cosechado
Lechuga	25	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Lino	7	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Maíz	216	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Maíz dulce	5	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Manzana	17	3	Árbol	Perenne	Reproductivo
Melón	9	4	Hierba	Anual	Reproductivo
Melón Cantalupo	4	4	Hierba	Anual	Reproductivo
Papa	18	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Pasas	3	0	Arbusto	Perenne	Reproductivo
Pepino	1	3	Hierba	Anual	Reproductivo
Pimienta	9	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Poroto Guando	1	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Puerro	4	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Remolacha	2	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Remolacha azucarera	4	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Repollo	17	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Sandía	3	4	Hierba	Anual	Reproductivo
Soja	113	2	Hierba	Anual	Reproductivo
Sorgo	2	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Tomate	89	1	Hierba	Anual	Reproductivo
Trigo	155	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Trigo de primavera	8	0	Hierba	Anual	Reproductivo
Trigo sarraceno	9	3	Hierba	Anual	Reproductivo
Uva	4	0	Arbusto	Perenne	Reproductivo
Zanahoria	14	0	Hierba	Anual	Vegetativo
Zapallo	1	4	Hierba	Anual	Reproductivo

Tablas suplementarias

Tabla S1: Estimados del modelo 0-2 efectuado sobre la base completa empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y la forma de vida del cultivo. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 0-2: Base de datos completa						
Moderadores:						
Dependencia de polinizadores (Q= 9.4863 GL=4 p-val = 0.0500)						
Forma de vida del cultivo (Q= 0.2883 GL=2 p-val = 0.8657)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	SE	LI	LS	Valor P
Intercepto (Dependencia 0, Herbáceo)	754, 1012	0.2730	0.0403	0.1941	0.3519	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0615	0.1112	-0.2794	0.1564	0.5801
Dependencia 2	147	-0.0604	0.0990	-0.2545	0.1336	0.5417
Dependencia 3	32	-0.1756	0.1666	-0.5020	0.1508	0.2917
Dependencia 4	19	-0.4183	0.1419	-0.6963	-0.1403	0.0032
Arbustivo	16	0.0716	0.1337	-0.1905	0.3337	0.5922
Árbol	33	0.0025	0.1494	-0.2903	0.2954	0.9865
Heterogeneidad (Q=41892.8915 GL=1054, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	51	0.0145				
Estudio	192	0.0432				
Replica	1061	0.0766				

Tabla S2: Estimados del modelo 0-3 efectuado sobre la base completa empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y la longevidad del cultivo. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 0-3: Base de datos completa						
Moderadores:						
Dependencia de polinizadores (Q=9.4967 GL=4 p-val =0.0498)						
Longevidad del cultivo (Q= 0.0065 GL=1 p-val = 0.9359)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	SE	LI	LS	Valor P
Intercepto (Dependencia 0, Anual)	754,1004	0.2775	0.0394	0.2003	0.3547	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0651	0.1085	-0.2778	0.1475	0.5484
Dependencia 2	147	-0.0533	0.0966	-0.2427	0.1361	0.5812
Dependencia 3	32	-0.1737	0.1420	-0.4519	0.1046	0.2213
Dependencia 4	19	-0.4097	0.1397	-0.6836	-0.1358	0.0034
Perenne	57	-0.0079	0.0984	-0.2008	0.1850	0.9359
Heterogeneidad (Q=42322.4780 GL=1055, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	51	0.0131				
Estudio	192	0.0432				
Replica	1061	0.0767				

Tabla S3: Estimados del modelo 0-4 efectuado sobre la base completa empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y la latitud de los cultivos. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 0-4: Base de datos completa						
Moderadores:						
Dependencia de polinizadores (Q=10.5380 GL=4 p-val =0.0323)						
Región latitudinal (Q=6.7017 GL=2 p-val =0.0351)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, Templado)	754, 1006	0.2666	0.0393	0.1896	0.3436	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0731	0.1087	-0.2862	0.1400	0.5013
Dependencia 2	147	-0.1103	0.0925	-0.2915	0.0709	0.2328
Dependencia 3	32	-0.1975	0.1262	-0.4449	0.0498	0.1176
Dependencia 4	19	-0.3995	0.1388	-0.6716	-0.1275	0.0040
Subtropical	43	0.1213	0.0858	-0.0469	0.2895	0.1575
Tropical	12	0.3319	0.1483	0.0411	0.6226	0.0253
Heterogeneidad (Q=42110.5908 GL=1054, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	51	0.0136				
Estudio	192	0.0418				
Replica	1061	0.0764				

Tabla S4: Estimados del modelo 0-5 efectuado sobre la base completa empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y si los cultivos son leguminosas. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 0-5: Base de datos completa						
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q=10.1810 GL=4 p-val =0.0375) Leguminosa (Q=0.0475 GL=1 p-val =0.8276)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, El cultivo no es leguminosa)	754, 982	0.2776	0.0387	0.2017	0.3535	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0607	0.1099	-0.2761	0.1548	0.5810
Dependencia 2	147	-0.0519	0.0923	-0.2329	0.1291	0.5743
Dependencia 3	32	-0.1798	0.1254	-0.4256	0.0661	0.1518
Dependencia 4	19	-0.4114	0.1390	-0.6839	-0.1388	0.0031
El cultivo es leguminosa	79	-0.0218	0.1000	-0.2177	0.1741	0.8276
Heterogeneidad (Q=42292.0475 GL=1055, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	51	0.0127				
Estudio	192	0.0435				
Replica	1061	0.0766				

Tabla S5: Estimados del modelo 0-6 efectuado sobre la base completa empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y si los cultivos son irrigados. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 0-6: Base de datos completa						
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q=10.5462 GL=4 p-val =0.0322) Irrigación (Q=1.8316 GL=2 p-val =0.4002)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, Sin datos)	754, 332	0.3133	0.0500	0.2153	0.4113	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0606	0.1140	-0.2840	0.1628	0.5951
Dependencia 2	147	-0.0383	0.0928	-0.2202	0.1436	0.6801
Dependencia 3	32	-0.1979	0.1288	-0.4504	0.0546	0.1244
Dependencia 4	19	-0.4216	0.1410	-0.6981	-0.1452	0.0028
Los cultivos no se irrigan	320	-0.0717	0.0532	-0.1760	0.0326	0.1781
Los cultivos se irrigan	409	-0.0398	0.0510	-0.1397	0.0601	0.4348
Heterogeneidad (Q=39100.2290 GL=1054, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	51	0.0154				
Estudio	192	0.0409				
Replica	1061	0.0769				

Tabla S6: Estimados del modelo 0-7 efectuado sobre la base completa empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y la diversidad de cultivos (si alguno se trata de policultivos o si son monocultivos). Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 0-7:						
Base de datos completa						
Moderadores:						
Dependencia de polinizadores (Q=9.5496 GL=4 p-val =0.0487)						
Diversidad de los cultivos (Q=0.8808 GL=4 p-val =0.9273)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, Ambos son monocultivos)	754, 443	0.2704	0.0429	0.1863	0.3545	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0751	0.1098	-0.2903	0.1400	0.4936
Dependencia 2	147	-0.0530	0.0914	-0.2321	0.1261	0.5621
Dependencia 3	32	-0.1718	0.1276	-0.4220	0.0783	0.1782
Dependencia 4	19	-0.4040	0.1407	-0.6798	-0.1283	0.0041
Ambos son policultivos	367	0.0140	0.0496	-0.0831	0.1112	0.7770
El convencional es un policultivo	19	0.0153	0.0897	-0.1604	0.1910	0.8644
El orgánico es un policultivo	173	0.0468	0.0584	-0.0676	0.1612	0.4228
Sin datos	59	-0.0198	0.0820	-0.1805	0.1409	0.8093
Heterogeneidad (Q=37598.0286 GL=1052, P<< .0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	51	0.0128				
Estudio	192	0.0449				
Replica	1061	0.0766				

Tabla S7: Estimados del modelo 0-8 efectuado sobre la base completa empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y si en cual cultivo se practica una mayor rotación de cultivos. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 0-8:						
Base de datos completa						
Moderadores:						
Dependencia de polinizadores (Q=10.1767 GL=4 p-val =0.0376)						
Rotación de cultivos (Q=2.1922 GL=5 p-val =0.8220)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, En ambos)	754, 664	0.2756	0.1265	0.2158	0.3778	0.0294
Dependencia 1	109	-0.0651	0.1064	-0.2784	0.1497	0.5407
Dependencia 2	147	-0.0410	0.0895	-0.2167	0.1358	0.6528
Dependencia 3	32	-0.1540	0.1279	-0.4051	0.0980	0.2314
Dependencia 4	19	-0.4229	0.1397	-0.6971	-0.1482	0.0025
En el convencional	34	-0.0213	0.1309	-0.2627	0.2200	0.8624
En el orgánico	113	-0.0551	0.1363	-0.2237	0.0712	0.3107
En ninguno	181	-0.0406	0.1317	-0.1760	0.0521	0.2868
Sin datos	68	-0.0278	0.1230	-0.1840	0.0852	0.4720
Heterogeneidad (Q=32789.8363 GL=1051, P< .0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	51	0.0121				
Estudio	192	0.0444				
Replica	1061	0.0767				

Tabla S8: Estimados del modelo 0-9 efectuado sobre la base completa empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y cual estudio cuenta con una mayor disponibilidad de nitrógeno. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 0-9: Base de datos completa						
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q=7.6424 GL=4 p-val =0.1056) Aporte de nitrógeno (Q=8.9759 GL=3 p-val =0.0296)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, Aportes similares)	754, 295	0.2202	0.0503	0.1215	0.3188	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0513	0.1055	-0.2581	0.1555	0.6268
Dependencia 2	147	-0.0329	0.0878	-0.2050	0.1391	0.7076
Dependencia 3	32	-0.1490	0.1240	-0.3920	0.0940	0.2295
Dependencia 4	19	-0.3585	0.1385	-0.6301	-0.0870	0.0097
Mayor en el convencional	386	0.1332	0.0489	0.0374	0.2289	0.0064
Mayor en el orgánico	163	0.0174	0.0622	-0.1045	0.1392	0.7800
Sin datos	217	0.0315	0.0520	-0.0705	0.1336	0.5444
Heterogeneidad (Q=38372.8919 GL=1053, P< .0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	51	0.0122				
Estudio	192	0.0400				
Replica	1061	0.0768				

Tabla S9: Estimados del modelo 1-2 efectuado sobre la base reducida empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y la forma de vida del cultivo. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 1-2: Base de datos reducida						
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q= 9.7672 GL=4 p-val =0.0445) Forma de vida (Q=0.2686 0 GL=2 p-val =0.8743)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	SE	LI	LS	Valor P
Intercepto (Dependencia 0, Herbáceo)	583, 841	0.2776	0.0501	0.1795	0.3757	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0738	0.1081	-0.2858	0.1381	0.4947
Dependencia 2	147	-0.0736	0.0968	-0.2634	0.1162	0.4471
Dependencia 3	32	-0.1905	0.1640	-0.5119	0.1310	0.2456
Dependencia 4	19	-0.4241	0.1416	-0.7016	-0.1466	0.0027
Arbustivo	16	0.0679	0.1314	-0.1895	0.3254	0.6050
Árbol	33	0.0120	0.1446	-0.2715	0.2955	0.9337
Heterogeneidad (Q=25878.8015 GL=883, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	36	0.0106				
Estudio	159	0.0433				
Replica	890	0.0804				

Tabla S10: Estimados del modelo 1-3 efectuado sobre la base reducida empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y la longevidad del cultivo. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 1-3: Base de datos reducida						
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q=9.8506 GL=4 p-val =0.0430) Longevidad del cultivo (Q=0.0076 GL=1 p-val = 0.9307)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	SE	LI	LS	Valor P
Intercepto (Dependencia 0, Anual)	583, 833	0.2844	0.0489	0.1885	0.3802	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0798	0.1060	-0.2876	0.1281	0.4519
Dependencia 2	147	-0.0673	0.0945	-0.2524	0.1178	0.4762
Dependencia 3	32	-0.1831	0.1396	-0.4567	0.0906	0.1898
Dependencia 4	19	-0.4184	0.1398	-0.6924	-0.1445	0.0028
Perenne	57	-0.0084	0.0967	-0.1979	0.1811	0.9307
Heterogeneidad (Q=26218.8503 GL=884, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	36	0.0097				
Estudio	159	0.0431				
Replica	890	0.0804				

Tabla S11: Estimados del modelo 1-4 efectuado sobre la base reducida empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y la latitud de los cultivos. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 1-4: Base de datos reducida						
Moderadores: Dependencia de polinizadores, Latitud Dependencia de polinizadores (Q=10.3491 GL=4 p-val =0.0349) Región latitudinal (Q=6.6337 GL=2 p-val =0.0363)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, Templado)	583, 835	0.2674	0.0481	0.1730	0.3617	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0832	0.1042	-0.2875	0.1211	0.4246
Dependencia 2	147	-0.1152	0.0904	-0.2924	0.0620	0.2027
Dependencia 3	32	-0.2028	0.1244	-0.4465	0.0410	0.1030
Dependencia 4	19	-0.4026	0.1383	-0.6736	-0.1315	0.0036
Subtropical	43	0.1208	0.0863	-0.0484	0.2900	0.1616
Tropical	12	0.3251	0.1453	0.0403	0.6100	0.0253
Heterogeneidad (Q=26069.4668 GL=883, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	36	0.0093				
Estudio	159	0.0416				
Replica	890	0.0801				

Tabla S12: Estimados del modelo 1-5 efectuado sobre la base reducida empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y si los cultivos son leguminosas. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 1-5: Base de datos reducida						
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q=10.3746 GL=4 p-val =0.0346) Leguminosa (Q=0.0497 G=1 p-val =0.8236)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, El cultivo no es leguminosa)	583, 811	0.2844	0.0478	0.1908	0.3780	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0754	0.1069	-0.2848	0.1341	0.4806
Dependencia 2	147	-0.0651	0.0928	-0.2469	0.1167	0.4831
Dependencia 3	32	-0.1894	0.1247	-0.4339	0.0550	0.1288
Dependencia 4	19	-0.4200	0.1394	-0.6932	-0.1469	0.0026
El cultivo es leguminosa	79	-0.0218	0.0980	-0.2139	0.1702	0.8236
Heterogeneidad (Q=26219.9409 GL=884, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	36	0.0094				
Estudio	159	0.0432				
Replica	890	0.0804				

Tabla S13: Estimados del modelo 1-6 efectuado sobre la base reducida empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y si los cultivos son irrigados o no. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 1-6: Base de datos reducida						
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q=10.7207 GL=4 p-val =0.0299) Irrigación (Q=0.7961 GL=2 p-val =0.6716)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, Sin datos)	583, 270	0.3035	0.0579	0.1899	0.4171	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0844	0.1096	-0.2992	0.1303	0.4410
Dependencia 2	147	-0.0572	0.0914	-0.2363	0.1219	0.5312
Dependencia 3	32	-0.1993	0.1267	-0.4476	0.0490	0.1157
Dependencia 4	19	-0.4307	0.1409	-0.7068	-0.1545	0.0022
Los cultivos no se irrigan	280	-0.0513	0.0594	-0.1677	0.0651	0.3875
Los cultivos se irrigan	340	-0.0130	0.0560	-0.1228	0.0969	0.8172
Heterogeneidad (Q=23884.9314 GL=883, P<0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	36	0.0103				
Estudio	159	0.0421				
Replica	890	0.0806				

Tabla S14: Estimados del modelo 1-7 efectuado sobre la base reducida empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y la diversidad del cultivo. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 1-7: Base de datos reducida						
Moderadores:						
Dependencia de polinizadores (Q=9.4823 GL=4 p-val =0.0501)						
Diversidad de cultivos (Q=0.8227. GL=4 p-val =0.9354)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, Ambos son monocultivos)	583, 325	0.2711	0.0536	0.1659	0.3762	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0874	0.1068	-0.2967	0.1220	0.4134
Dependencia 2	147	-0.0647	0.0913	-0.2435	0.1142	0.4785
Dependencia 3	32	-0.1753	0.1280	-0.4262	0.0755	0.1706
Dependencia 4	19	-0.4102	0.1412	-0.6869	-0.1336	0.0037
Ambos son policultivos	314	0.0238	0.0552	-0.0844	0.1320	0.6664
El convencional es un policultivo	19	0.0256	0.0941	-0.1588	0.2100	0.7855
El orgánico es un policultivo	173	0.0491	0.0607	-0.0698	0.1680	0.4181
Sin datos	59	-0.0116	0.0831	-0.1744	0.1513	0.8892
Heterogeneidad (Q=24740.4462 GL=881, P< .0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	36	0.0095				
Estudio	159	0.0448				
Replica	890	0.0804				

Tabla S15 Estimados del modelo 1-8 efectuado sobre la base reducida empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y en cual cultivo se practica una mayor rotación de cultivos. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 1-8: Base de datos reducida						
Moderadores:						
Dependencia de polinizadores (Q=10.9794 GL=4 p-val =0.0268)						
Rotación de cultivos (Q=2.7431 GL=4 p-val =0.6017)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, Ambos)	583, 548	0.3131	0.0495	0.2161	0.4100	<.0001
Dependencia 1	109	-0.0849	0.1019	-0.2846	0.1149	0.4050
Dependencia 2	147	-0.0587	0.0876	-0.2304	0.1129	0.5023
Dependencia 3	32	-0.1559	0.1275	-0.4057	0.0939	0.2213
Dependencia 4	19	-0.4412	0.1390	-0.7137	-0.1687	0.0015
En el convencional	34	-0.0262	0.1234	-0.2682	0.2157	0.8316
En el orgánico	114	-0.0847	0.0748	-0.2313	0.0618	0.2571
En ninguno	126	-0.0849	0.0660	-0.2142	0.0444	0.1983
Sin datos	68	-0.0500	0.0692	-0.1857	0.0856	0.4697
Heterogeneidad (Q=24931.7290 GL=881, P< .0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	36	0.0081				
Estudio	159	0.0438				
Replica	890	0.0805				

Tabla S16: Estimados del modelo 1-9 efectuado sobre la base reducida empleando como factores aleatorios a la especie de cultivo, la publicación de la que provienen los datos y el número de comparaciones efectuadas dentro de dicha publicación; y como moderadores a la dependencia de polinizadores y cual estudio cuenta con una mayor disponibilidad de nitrógeno. Se=error estándar, Li=límite inferior del intervalo del 95%, Ls=límite superior del intervalo del 95%. Los estimados muestran el ln(conv/org).

Modelo 1-9: Base de datos reducida						
Moderadores: Dependencia de polinizadores (Q=7.3045 GL=4 p-val =0.1206) Aporte de nitrógeno (Q=7.3884 GL=3 p-val =0.0605)						
Efecto	Tamaño muestral	Estimado	Se	Li	Ls	Pval
Intercepto (Dependencia 0, Aportes similares)	583, 214	0.2069	0.0604	0.0886	0.3253	0.0006
Dependencia 1	109	-0.0656	0.1003	-0.2622	0.1310	0.5131
Dependencia 2	147	-0.0478	0.0855	-0.2154	0.1198	0.5761
Dependencia 3	32	-0.1546	0.1215	-0.3927	0.0835	0.2032
Dependencia 4	19	-0.3516	0.1388	-0.6237	-0.0796	0.0113
Mayor aporte en el convencional	328	0.1450	0.0549	0.0375	0.2526	0.0082
Mayor aporte en el orgánico	147	0.0696	0.0690	-0.0656	0.2047	0.3131
Sin datos	201	0.0553	0.0567	-0.0557	0.1664	0.3288
Heterogeneidad (Q= 25540.6304 GL=882, P< .0001)						
Fuente	Tamaño muestral	Varianza				
Cultivo	36	0.0079				
Estudio	159	0.0402				
Replica	890	0.0807				

Tabla S17: Número de comparaciones entre cultivos para cada categoría de dependencia de polinizadores y para cada latitud evaluada.

Distribución de cultivos					
Dependencia de polinizadores:					
Latitud	0	1	2	3	4
Templado	721	102	131	34	19
Sub-Tropical	29	5	9	0	0
Tropical	1	2	7	2	0

Figuras suplementarias

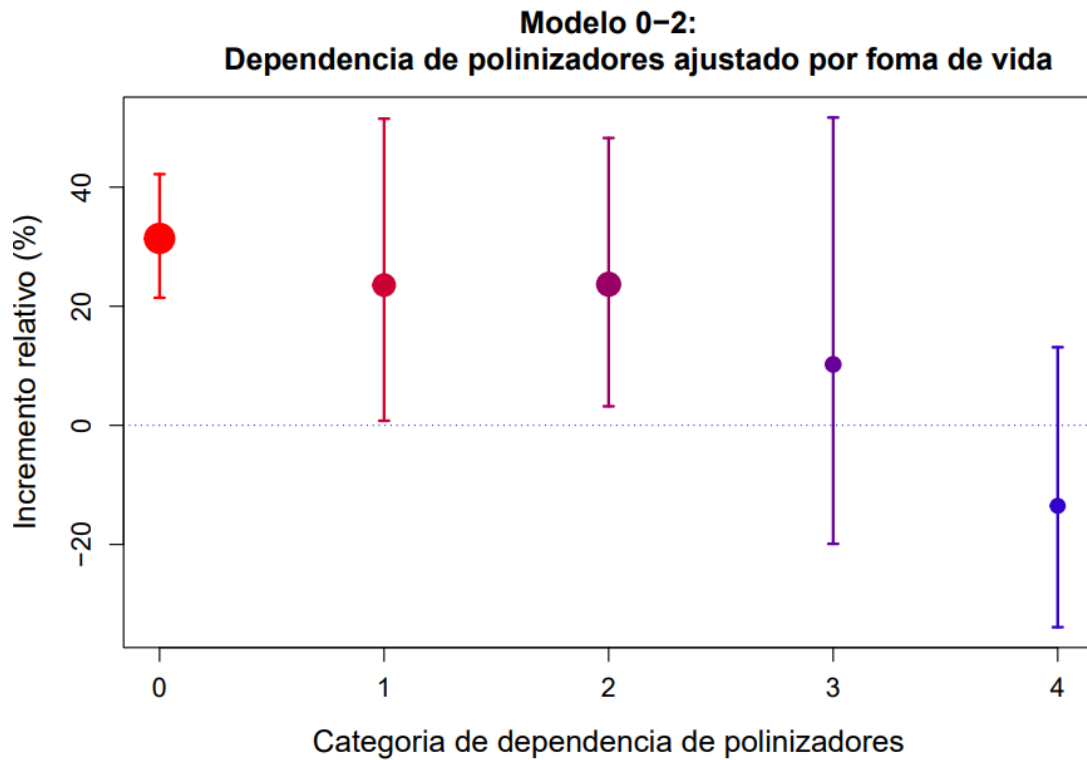


Figura S1: Efecto estimado y ajustado por la forma de vida (modelo 0-2) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

**Modelo 0-3:
Dependencia de polinizadores ajustado por longevidad**

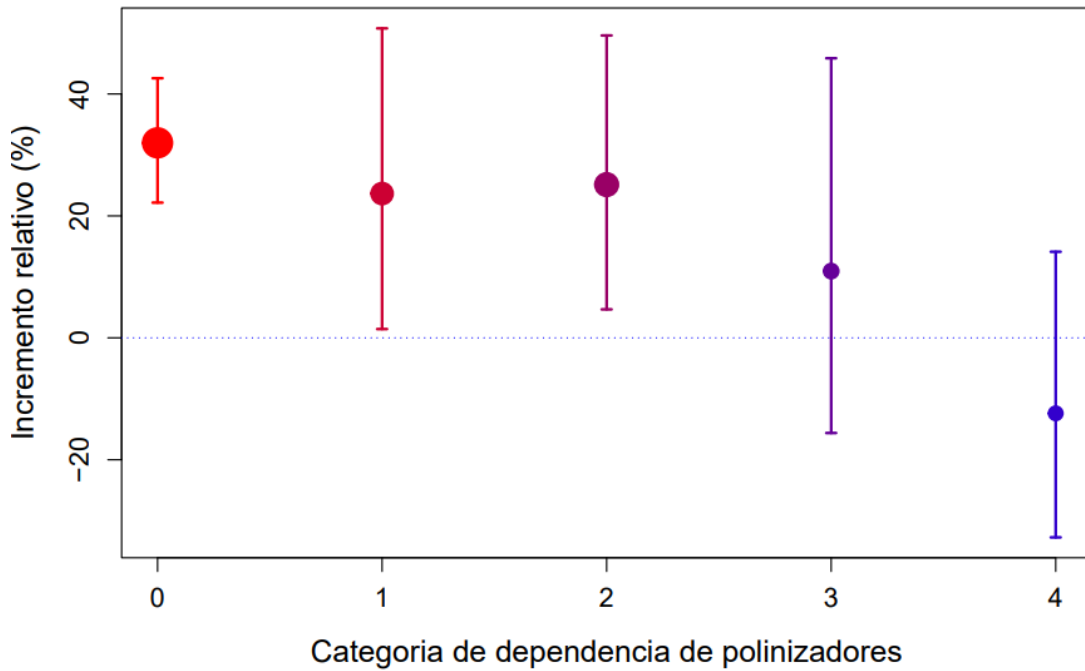


Figura S2: Efecto estimado y ajustado por la longevidad de la especie cultivada (modelo 0-3) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

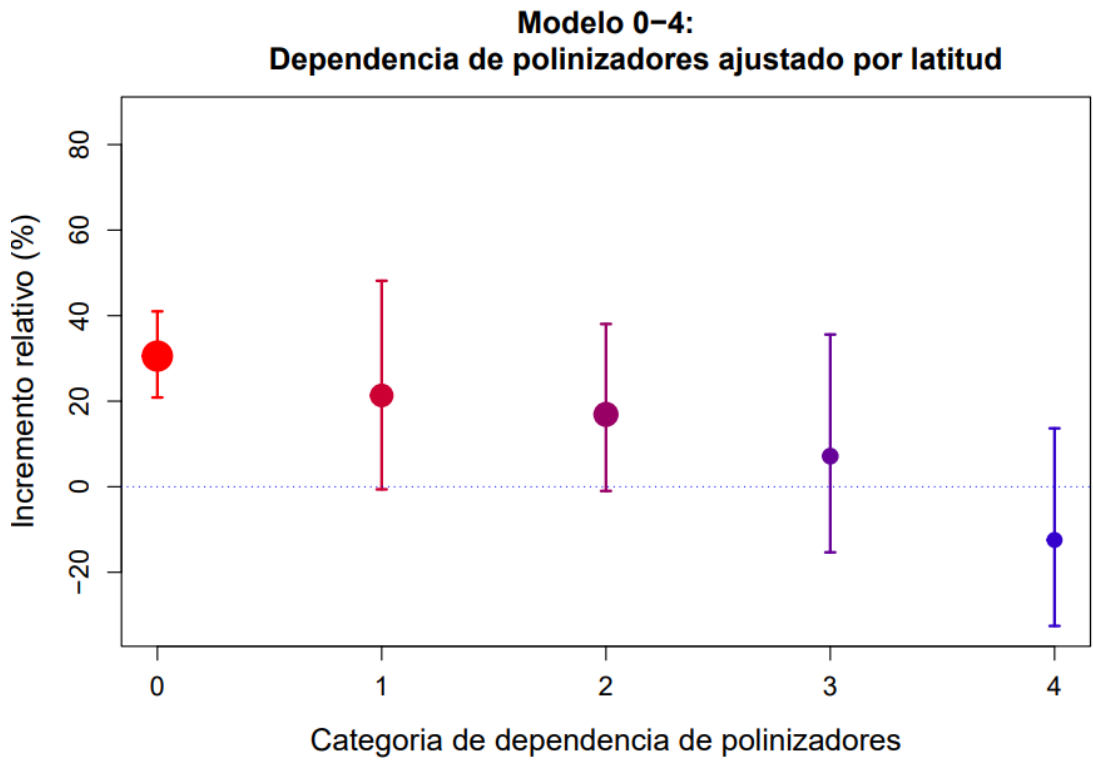


Figura S3: Efecto estimado y ajustado por la latitud (modelo 0-4) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100^*(\exp(\text{conv/org})-1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

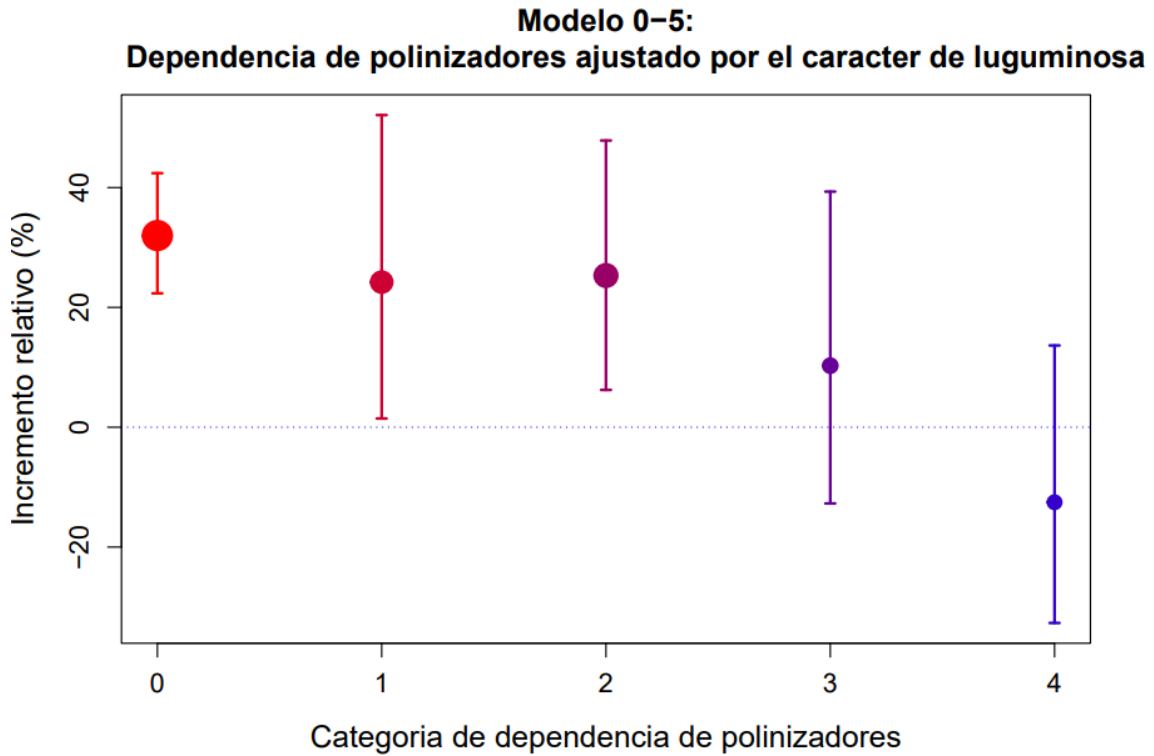


Figura S4: Efecto estimado y ajustado por ser o no leguminosa (modelo 0-5) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv}/\text{org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

**Modelo 0-6:
Dependencia de polinizadores ajustado por irrigación**

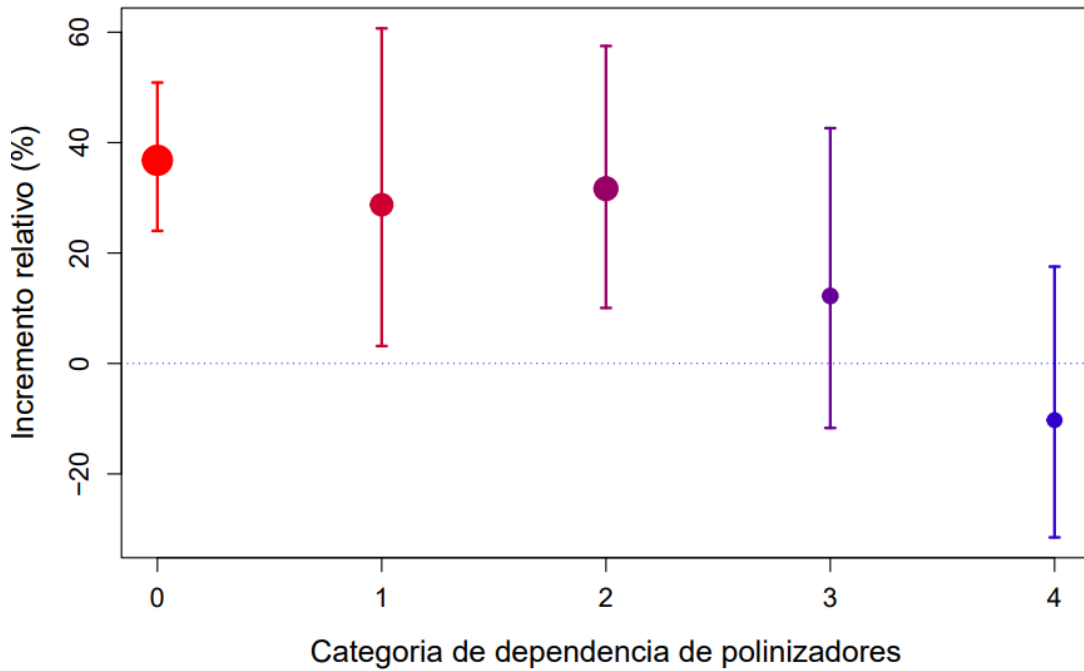


Figura S5: Efecto estimado y ajustado por irrigación (modelo 0-6) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

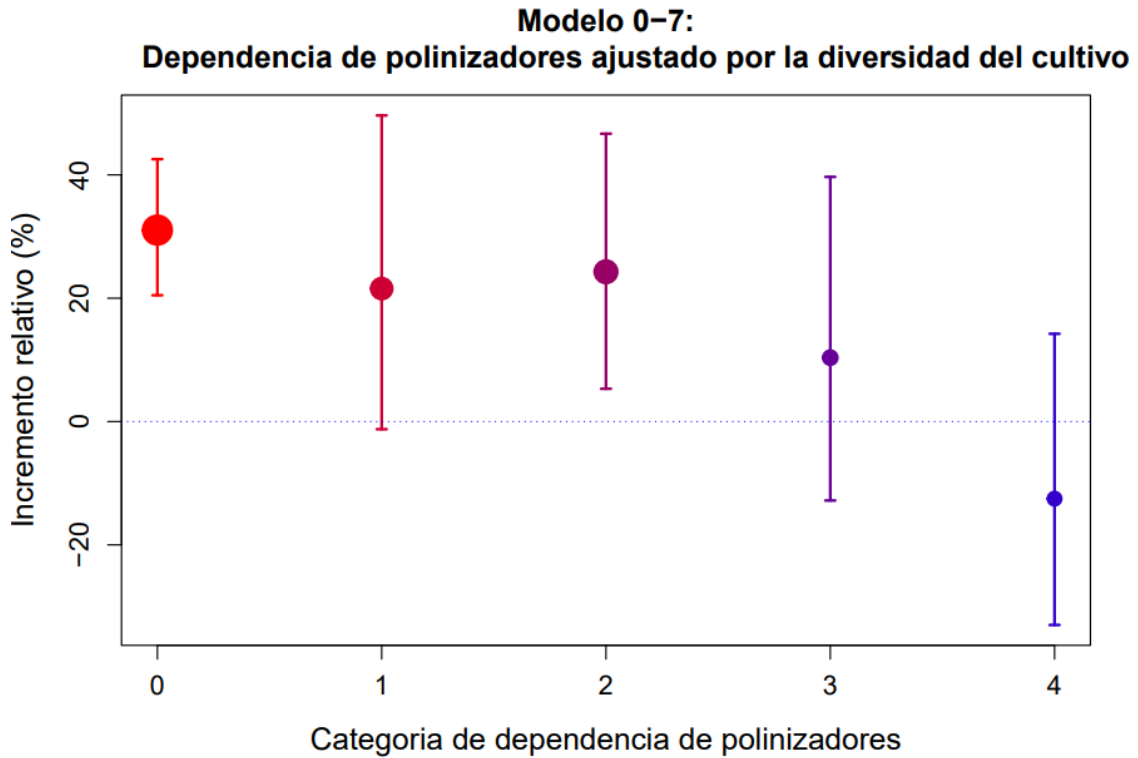


Figura S6: Efecto estimado y ajustado por la diversidad de cultivo (modelo 0-7) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

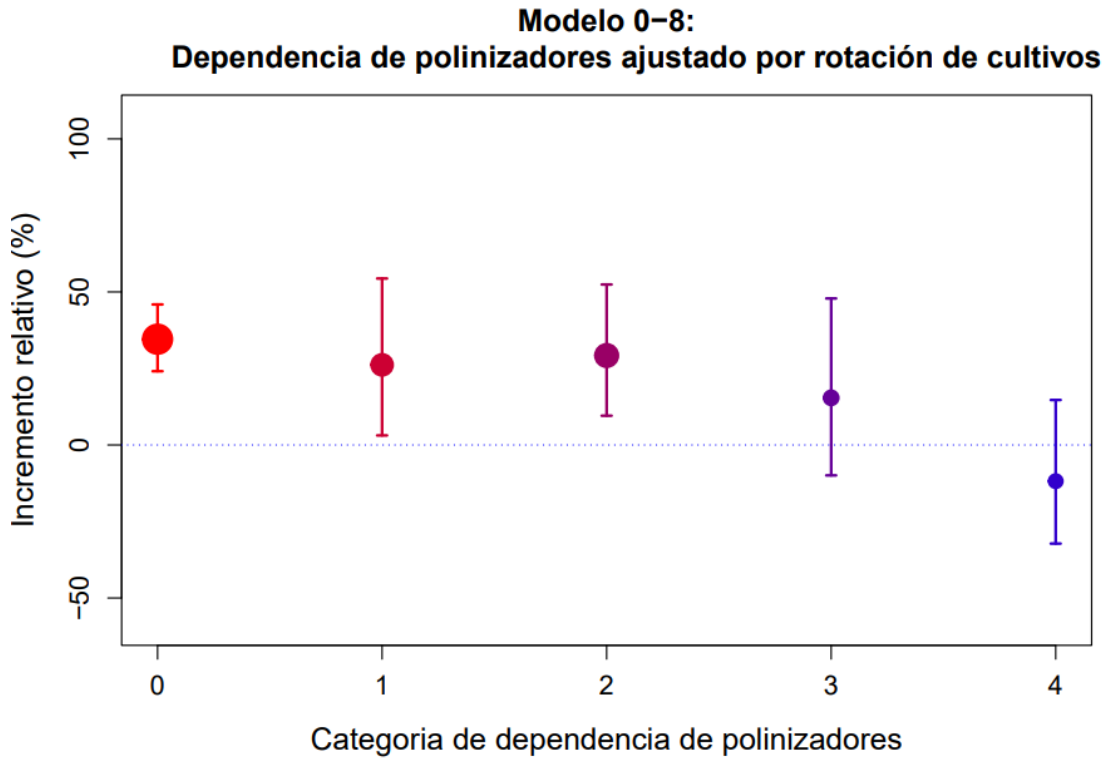


Figura S7: Efecto estimado y ajustado por rotación de cultivo (modelo 0-8) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

**Modelo 0-9:
Dependencia de polinizadores ajustado por niveles de nitrógeno**

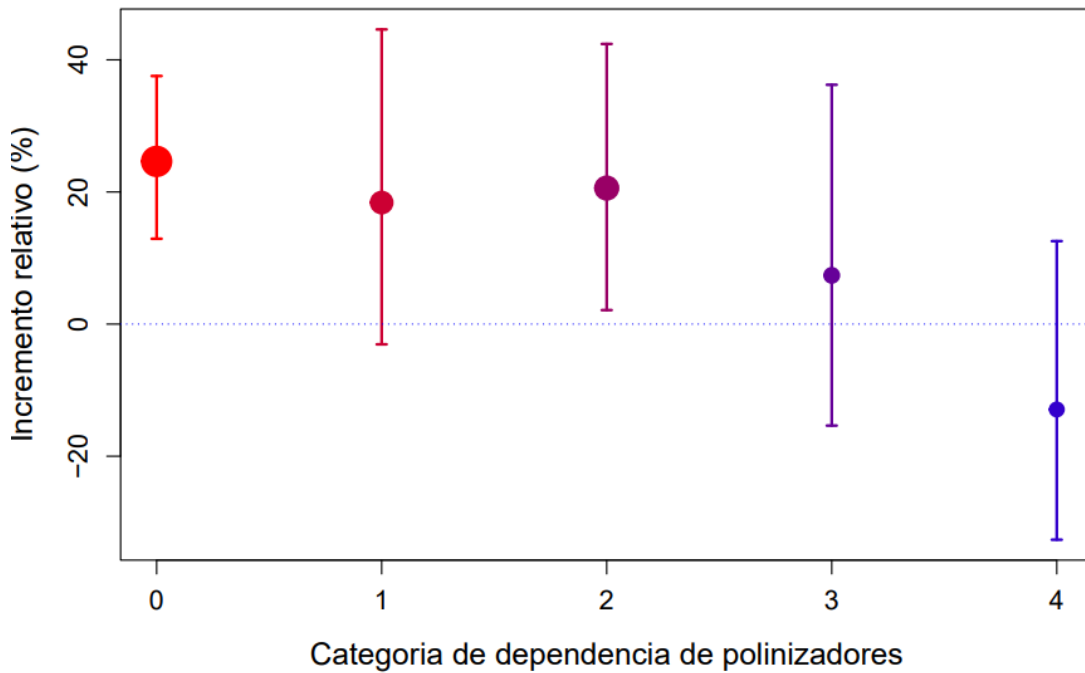


Figura S8: Efecto estimado y ajustado por niveles de nitrógeno (modelo 0-9) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

**Modelo 1-2:
Dependencia de polinizadores ajustado por forma de vida**

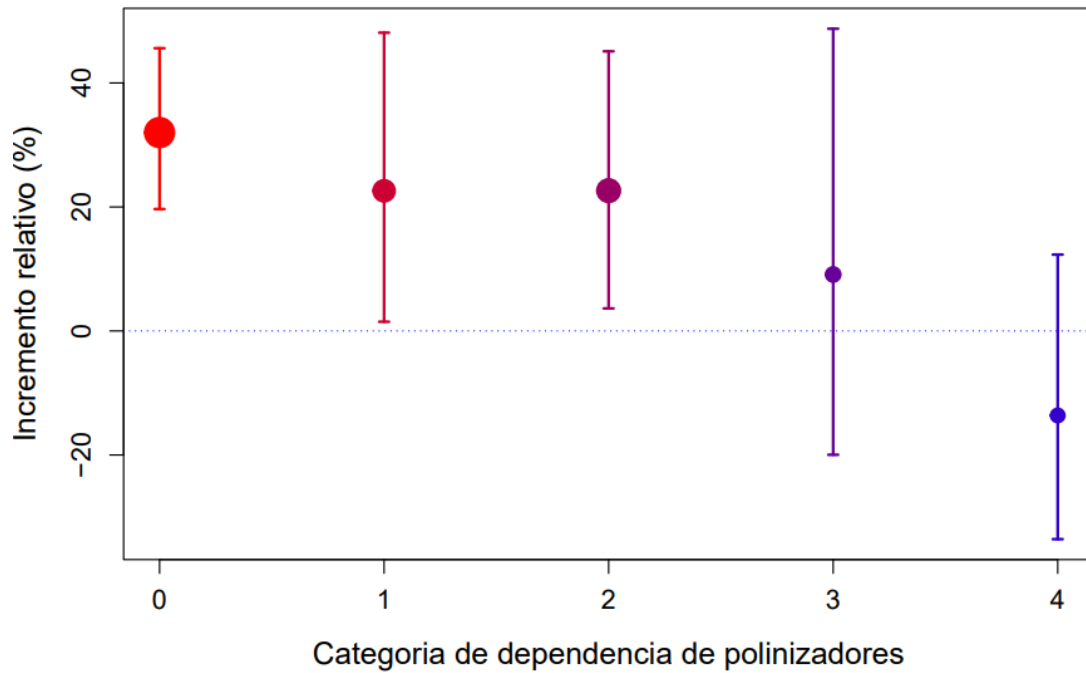


Figura S9: Efecto estimado y ajustado por forma de vida (modelo 1-2) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

**Modelo 1-3:
Dependencia de polinizadores ajustado por longevidad**

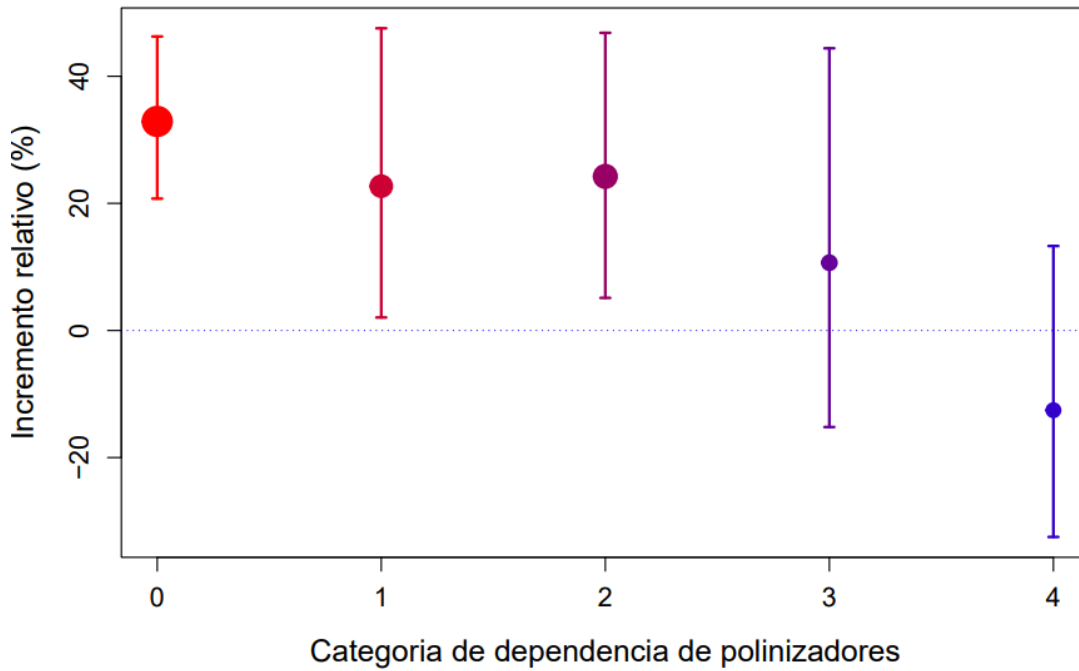


Figura S10: Efecto estimado y ajustado por longevidad de la planta cultivada (modelo 1-3) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

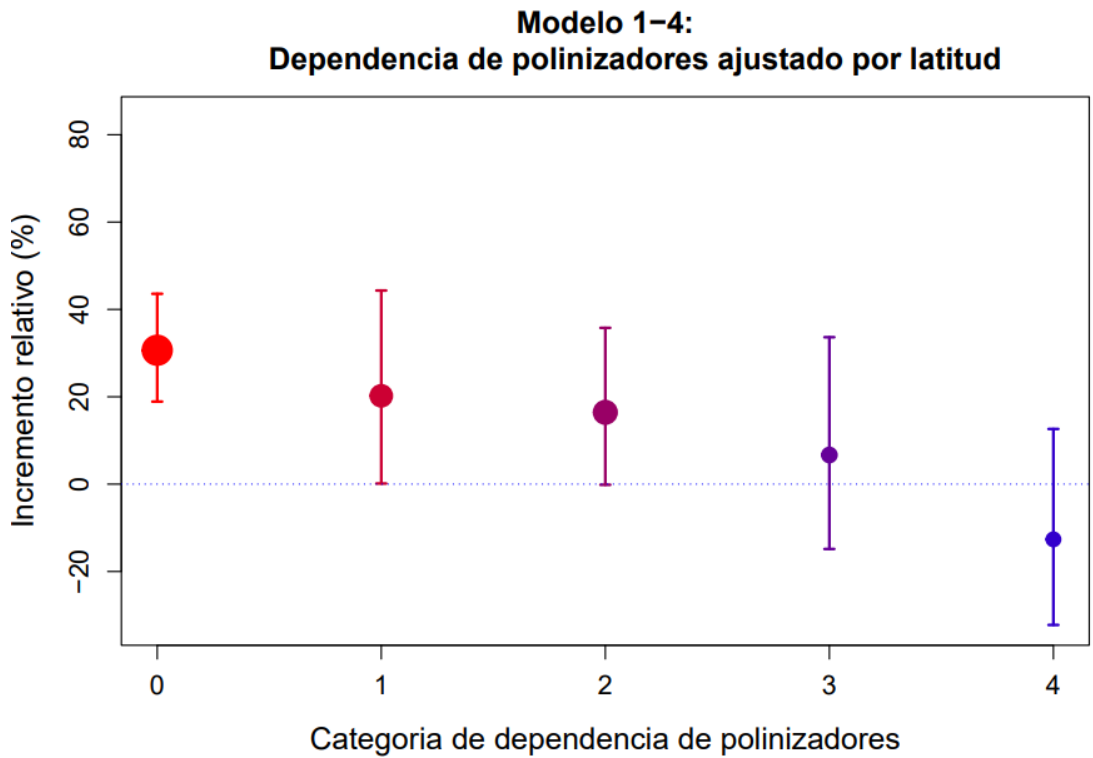


Figura S11: Efecto estimado y ajustado por latitud (modelo 1-3) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

**Modelo 1-5:
Dependencia de polinizadores ajustado por el caracter de leguminosa**

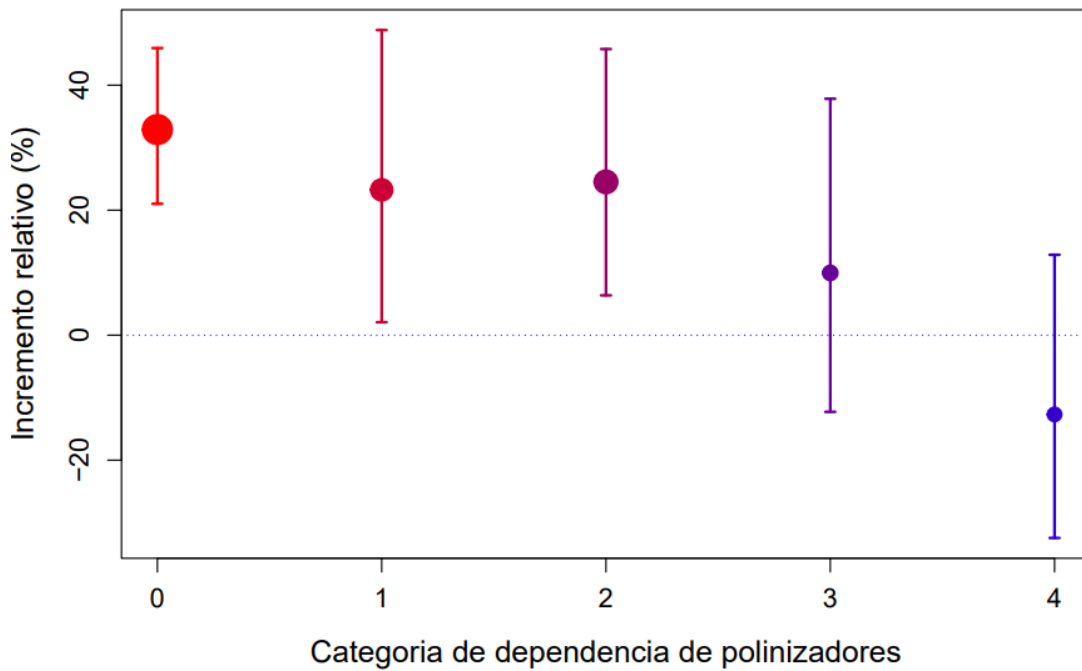


Figura S12: Efecto estimado y ajustado por ser o no ser leguminosa (modelo 1-5) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

**Modelo 1-6:
Dependencia de polinizadores ajustado por irrigación**

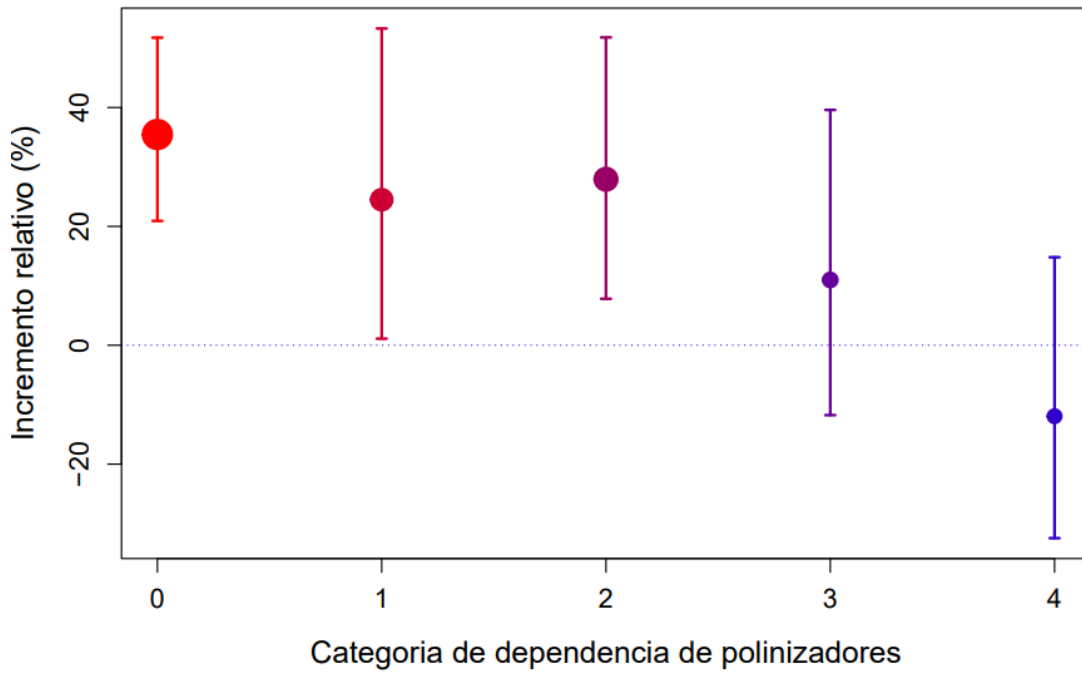


Figura S13: Efecto estimado y ajustado por irrigación (modelo 1-6) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

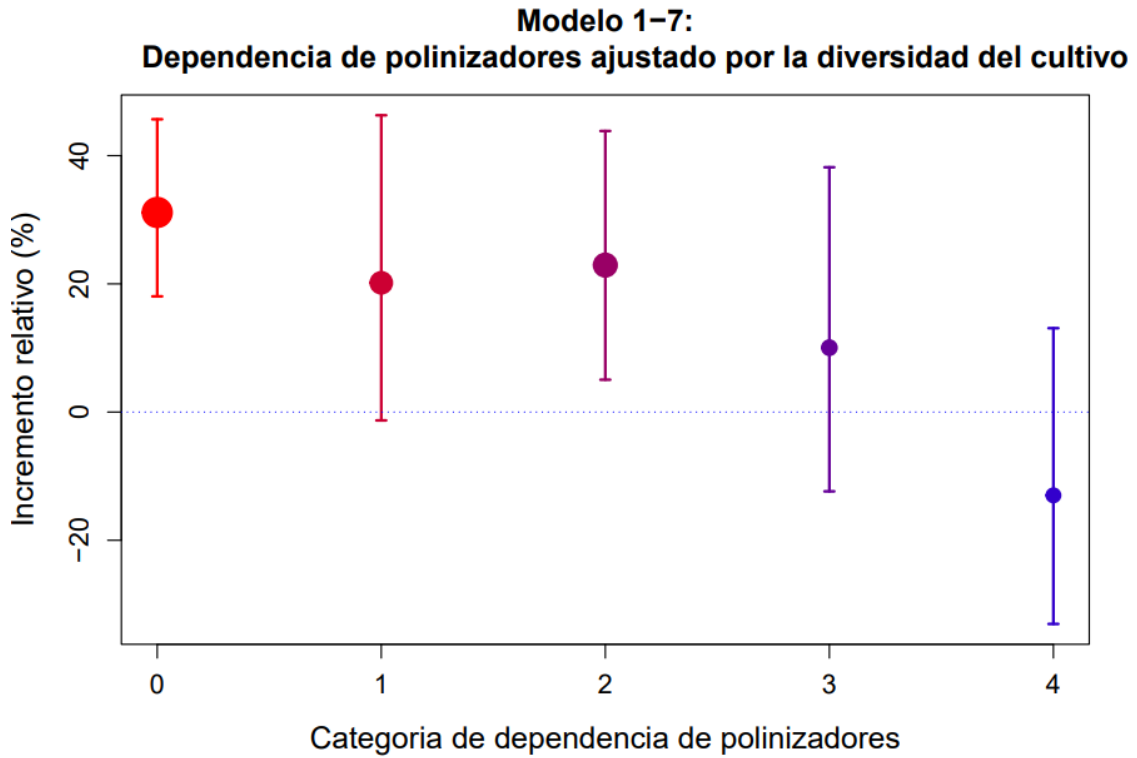


Figura S14: Efecto estimado y ajustado por diversidad de cultivo (modelo 1-7) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

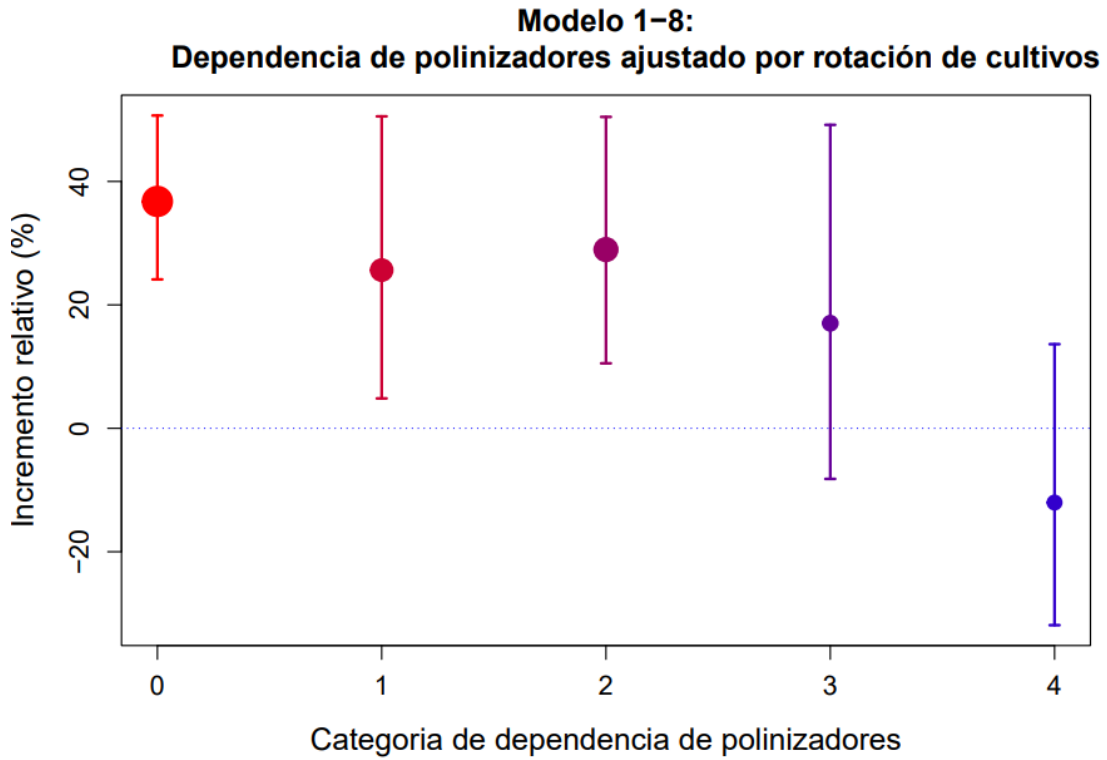


Figura S14: Efecto estimado y ajustado por rotación de cultivo (modelo 1-8) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

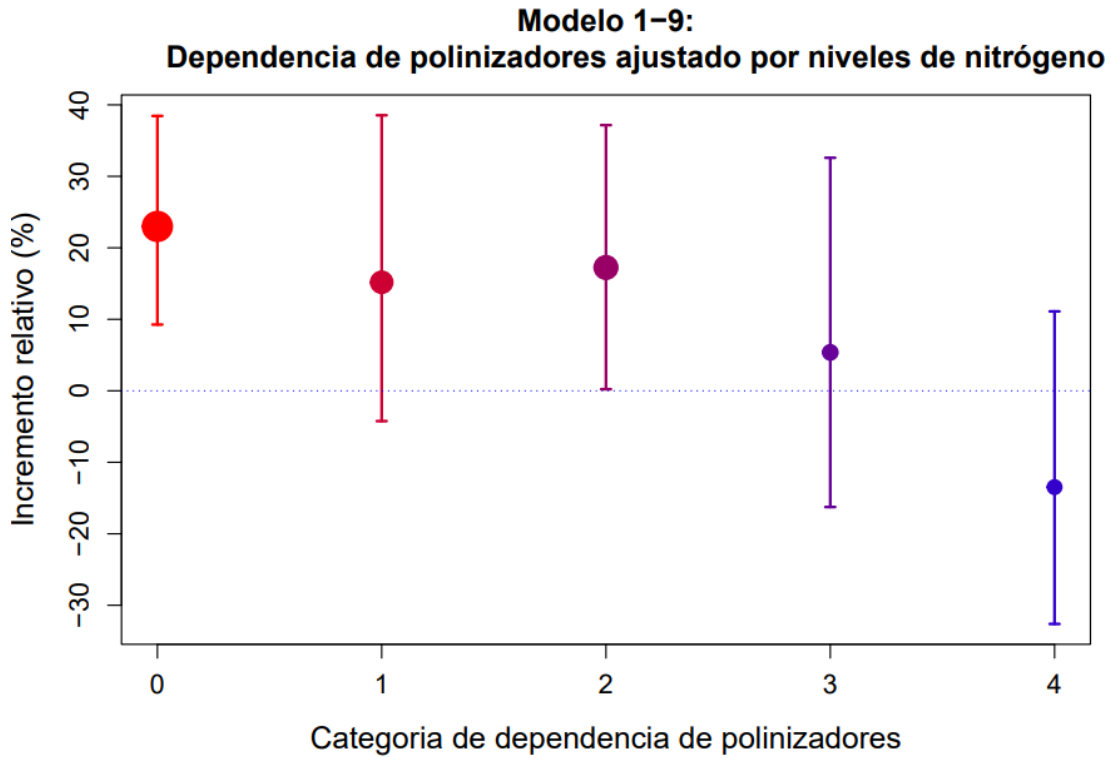


Figura S15: Efecto estimado y ajustado por niveles de nitrógeno (modelo 1-9) del cambio proporcional en el rendimiento entre cultivos orgánicos y convencionales ($100 \cdot (\exp(\text{conv/org}) - 1)$) para cada categoría de dependencia de polinizadores. Los puntos son los estimados para cada categoría de dependencia y las barras los intervalos de confianza del 95% del modelo. Si el intervalo confianza incluye al cero significa que no hay evidencia de diferencias en el rendimiento entre la convencional y la orgánica. El tamaño de los puntos es logarítmicamente proporcional (en base 10) al número de datos pertenecientes a ese nivel de dependencia de polinizadores. El gradiente de colores corresponde al nivel de dependencia de polinizadores donde rojo es independencia total y azul es dependencia máxima.

Bibliografía

Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., & Harder, L. D. (2022). Myth and reality of a global crisis for agricultural pollination. *Ecología Austral*, 32, 599-820

Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2009). How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Annals of Botany*, 103, 1579-1588.

Aktar, W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2, 1-12.

Amundson, R., Berhe, A. A., Hopmans, J. W., Olson, C., Sztein, A. E., & Sparks, D. L. (2015). Soil and human security in the 21st century. *Science*, 348, 1261071.

Ashman, T. L., Knight, T. M., Steets, J. A., Amarasekare, P., Burd, M., et al., (2004). Pollen limitation of plant reproduction: ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology*, 85, 2408-2421.

Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M. J., et al., (2007). Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22, 86-108.

Bahlai, C. A., Xue, Y., McCreary, C. M., Schaafsma, A. W., & Hallett, R. H. (2010). Choosing organic pesticides over synthetic pesticides may not effectively mitigate environmental risk in soybeans. *PloS one*, 5, e11250.

Bennett, E. M., Carpenter, S. R., & Caraco, N. F. (2001). Human impact on erodable phosphorus and eutrophication: a global perspective: increasing accumulation of phosphorus in soil threatens rivers, lakes, and coastal oceans with eutrophication. *BioScience*, 51, 227-234.

Blaix, C., Moonen, A. C., Dostatny, D. F., Izquierdo, J., Le Corff, J., et al., (2018). Quantification of regulating ecosystem services provided by weeds in annual cropping systems using a systematic map approach. *Weed Research*, 58, 151-164.

Blomberg, S. P., Garland Jr, T., & Ives, A. R. (2003). Testing for phylogenetic signal in comparative data: behavioral traits are more labile. *Evolution*, 57, 717-745.

Chen, H., & Wang, X. (2021). Sparrow slaughter and grain yield reduction during the Great Famine of China. *SSRN*, 3832057.

Clark, S. (2020). Organic farming and climate change: The need for innovation. *Sustainability*, 12, 7012.

Code of Federal Regulations (eCFR). (n.d.). The National List of Allowed and Prohibited Substances. Visitado por última vez el 8 de Febrero del 2023.

Link:<https://www.ecfr.gov/current/title-7/subtitle-B/chapter-I/subchapter-M/part-205/subpart-G>

Connor, D. J. (2018a). Land required for legumes restricts the contribution of organic agriculture to global food security. *Outlook on Agriculture*, 47, 277-282.

Connor, D. J. (2018b). Organic agriculture and food security: A decade of unreason finally implodes. *Field Crops Research*, 225, 128-129.

Connor, D. J. (2021). What is the real productivity of organic farming systems?. *Outlook on Agriculture*, 50, 125-129.

Crowder, D. W., & Reganold, J. P. (2015). Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 7611-7616.

De Ponti, T., Rijk, B., & Van Ittersum, M. K. (2012). The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems*, 108, 1-9.

Dudley, N., & Alexander, S. (2017). Agriculture and biodiversity: a review. *Biodiversity*, 18, 45-49.

Duke, S. O. (2018). The history and current status of glyphosate. *Pest Management Science*, 74, 1027-1034.

Deguines, N., Jono, C., Baude, M., Henry, M., Julliard, R., & Fontaine, C. (2014). Large-scale trade-off between agricultural intensification and crop pollination services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12, 212-217.

El-Shafie, H.A.F. (2019). Insect pest management in organic farming system. En: (J. Moudrý, K.Mendes, J.Bernas, R. da Silva Teixeira, R.Nogueira de Sousa, eds.) *Multifunctionality and Impacts of Organic and Conventional Agriculture*. Intechopen doi: 10.5772/intechopen.84483

(EPA). United States Herbicides Environmental Protection Agency. Herbicides. Visitado por última vez el 9 de Febrero del 2023.

Link:<https://www.epa.gov/caddis-vol2/herbicides#:~:text=The%20most%20direct%20effects%20of,macrophytes%2C%20periphyton%20and%20phytoplankton>

FAO/WHO. (1999). Codex Alimentarius Commission. Organic Agriculture. Visitado por última vez el 9 de febrero del 2023.

Link:<https://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq1/en/>

FAO. (n.d.-a). Chapter 3: Fertilizers as water pollutants. Visitado por última vez el 9 de febrero del 2023. Link: <https://www.fao.org/3/w2598e/w2598e06.htm>

FAO. (n.d.-b). What are the environmental benefits of organic agriculture? Visitado por última vez el 8 de febrero del 2023.

Link:<https://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq6/en/>

FAO. (1999). COMMITTEE ON AGRICULTURE, Organic Agriculture: Item 8 of the Provisional Agenda. Visitado por última vez el 19 de enero del 2023.

Link:<https://www.fao.org/3/X0075e/X0075e.htm>

FAO. (2012). Statistical Yearbook of the Food And Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Visitado por última vez el 19 de enero del 2023. Link:<https://www.fao.org/3/i3107e/i3107e.pdf>

FAO. (2019). World fertilizer trends and outlook to 2019. Visitado por última vez el 8 de febrero del 2023. Visitado por última vez el 19 de enero del 2023. Link:<https://www.fao.org/3/i5627e/i5627e.pdf>

FAO. (2021). New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. Visitado por última vez el 19 de enero del 2023. Link:<http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/>

Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., et al., (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309, 570-574.

Fuller, D. Q., & Stevens, C. J. (2019). Between domestication and civilization: the role of agriculture and arboriculture in the emergence of the first urban societies. *Vegetation History and Archaeobotany*, 28, 263-282.

Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68, 810-821.

Gallandt, E. R., & Weiner, J. (2015). Crop–weed competition. *EIs*, 1-9.

<https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0020477.pub2>

Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., et al., (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339, 1608-1611.

GeoPard Agriculture. (n.d.). What is the difference between organic and synthetic fertilizers?. Visitado por última vez el 9 de Febrero del 2023.

Link:<https://geopard.tech/blog/what-is-the-difference-between-organic-and-synthetic-fertilizers/>

Gibbs, K. E., Mackey, R. L., & Currie, D. J. (2009). Human land use, agriculture, pesticides and losses of imperiled species. *Diversity and Distributions*, 15, 242-253.

Gill, H. K., & Garg, H. (2014). Pesticide: environmental impacts and management strategies. *Pesticides-toxic Aspects*, 8, 187-201.

Gleiser, G., Leme da Cunha, N., Sáez, A., Aizen, M. A. (2021). Ecological correlates of crop yield growth and interannual yield variation at a global scale. *Web Ecology*, 21, 15-43.

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., et al., (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812-818.

Green, R. E., Cornell, S. J., Scharlemann, J. P., & Balmford, A. (2005). Farming and the fate of wild nature. *Science*, 307, 550-555.

Hipólito, J., Boscolo, D., & Viana, B. F. (2018). Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256, 218-225.

Hedges, L. V., Gurevitch, J., & Curtis, P. S. (1999). The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. *Ecology*, 80, 1150-1156

Henckel, L., Börger, L., Meiss, H., Gaba, S., & Bretagnolle, V. (2015). Organic fields sustain weed metacommunity dynamics in farmland landscapes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 20150002.

Gach, J. (n.d.). Synthetic vs. Organic Fertilizers. EnviroIngenuity. Visitado por última vez el 9 de Febrero del 2023.

Link:<https://www.enviroingenuity.com/articles/synthetic-vs-organic-fertilizers.html#:~:text=Organic%20Fertilizers%20are%20materials%20derived,products%20of%20the%20petroleum%20industry.>

Kean, S. (2017). The Soviet era's deadliest scientist is regaining popularity in Russia. *The Atlantic*. Link:
<https://www.theatlantic.com/science/archive/2017/12/trofim-lysenko-soviet-union-russia/548786/>

Kirchmann, H. (2019). Why organic farming is not the way forward. *Outlook on Agriculture*, 48, 22-27.

Kruitwagen, A., Beukeboom, L. W., & Wertheim, B. (2018). Optimization of native biocontrol agents, with parasitoids of the invasive pest *Drosophila suzukii* as an example. *Evolutionary Applications*, 11, 1473-1497.

Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: Biological sciences*, 274, 303-313.

Lev-Yadun, S., Gopher, A., & Abbo, S. (2000). The cradle of agriculture. *Science*, 288, 1602-1603.

Lichtenberg, E. M., Kennedy, C. M., Kremen, C., Batary, P., Berendse, F., et al., (2017). A global synthesis of the effects of diversified farming systems on arthropod diversity within fields and across agricultural landscapes. *Global Change Biology*, 23, 4946-4957.

Lohrmann, J., Cecchetto, N. R., Aizen, N., Arbetman, M. P., & Zattara, E. E. (2022). When bio is not green: the impacts of bumblebee translocation and invasion on native ecosystems. *CABI Reviews*, doi.org/10.1079/cabireviews202217006

Lotter, D. W. (2003). Organic agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 21, 59-128.

Meemken, E. M., & Qaim, M. (2018). Organic agriculture, food security, and the environment. *Annual Review of Resource Economics*, 10, 39-63.

Meftaul, I. M., Venkateswarlu, K., Dharmarajan, R., Annamalai, P., Asaduzzaman, M., Parven, A., & Megharaj, M. (2020). Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate: Is it to be banned in modern agriculture?. *Environmental Pollution*, 263, 114372.

Meixner, M. D. (2010). A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103, 80-95.

Montañez, M. N., & Amarillo-Suárez, Á. (2014). Impact of organic crops on the diversity of insects: a review of recent research. *Revista Colombiana de Entomología*, 40, 131-142.

Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 13268-13272.

Muller, A., Schader, C., El-Hage Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., et al., (2017). Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications*, 8, 1-13.

Osterman, J., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Bosch, J., Howlett, B. G., et al., (2021). Global trends in the number and diversity of managed pollinator species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107653.

Park, S., Croteau, P., Boering, K. A., Etheridge, D. M., Ferretti, D., et al., (2012). Trends and seasonal cycles in the isotopic composition of nitrous oxide since 1940. *Nature Geoscience*, 5, 261-265.

Pimentel, D., & Pimentel, M. (1990). Comment: Adverse environmental consequences of the Green Revolution. *Population and Development Review*, 16, 329-332.

Pingali, P. L. (2012). Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 12302-12308.

Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., De Valpine, P., & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 20141396.

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 345-353.

Ramankutty, N., Evan, A. T., Monfreda, C., & Foley, J. A. (2008). Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles*, 22, doi:[10.1029/2007GB002952](https://doi.org/10.1029/2007GB002952)..

R Core Team. (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Reganold, J. P., Elliott, L. F., & Unger, Y. L. (1987). Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. *Nature*, 330, 370-372.

Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., & Frede, H. G. (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground-and surface water and their effectiveness; A review. *Science of the Total Environment*, 384, 1-35.

Revell, L. J. (2010). Phylogenetic signal and linear regression on species data. *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 319-329.

Ricketts, T. H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, et al., (2008). Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?. *Ecology Letters*, 11, 499-515.

Ricketts, T. H. (2004). Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology*, 18, 1262-1271.

Rhodes, Christopher J. (2019). Are insect species imperilled? Critical factors and prevailing evidence for a potential global loss of the entomofauna: A current commentary. *Science Progress*, 102, 181-196.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, et al., (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472-475.

Sáez, A., Aguilar, R., Ashworth, L., Gleiser, G., Morales, C. L., Traveset, A., & Aizen, M. A. (2022). Managed honeybees decrease pollination limitation in self-compatible but not in self-incompatible crops. *Proceedings of the Royal Society B*, 289, 20220086.

Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8-27.

Sánchez-Bayo, F. (2021). Indirect effect of pesticides on insects and other arthropods. *Toxics*, 9, 177

Schemske, D. W., Mittelbach, G. G., Cornell, H. V., Sobel, J. M., & Roy, K. (2009). Is there a latitudinal gradient in the importance of biotic interactions?. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40, 245-269.

Searchinger, T. D., Wiersenius, S., Beringer, T., & Dumas, P. (2018). Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature*, 564, 249-253.

Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485, 229-232.

Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L., & Mäder, P. (1998). Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 69, 253-264.

Sharma, A., & Chetani, R. (2017). A review on the effect of organic and chemical fertilizers on plants. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 5, 677-680.

Smith, S. A., & Brown, J. W. (2018). Constructing a broadly inclusive seed plant phylogeny. *American Journal of Botany*, 105, 302-314.

Stanhill, G. (1990). The comparative productivity of organic agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 30, 1-26.

Stickel, L. F. (1973). Pesticide residues in birds and mammals. *Environmental Pollution by Pesticides* 254-312.

Sumberg, J., & Giller, K. E. (2022). What is 'conventional' agriculture?. *Global Food Security*, 32, 100617.

Tamil Nadu Agricultural University (TNAU). (n.d.). ORGANIC FARMING :: Weed Management. Visitado por última vez el 19 de enero del 2023,

Link:https://agritech.tnau.ac.in/org_farm/orgfarm_weed%20mgt.html#:~:text=The%20use%20of%20clean%20seed,seeds%20and%20difficult%20weed%20species

Tilman, D. (1999). Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 5995-6000.

Tubiello, F. N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., & Smith, P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8, 015009.

Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., et al., (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 1112.

US Department of Agriculture (USDA). How Does USDA Assess Organic Equivalency with other Countries?. Visitado por última vez el 5 de febrero del 2023.

Link:<https://www.ams.usda.gov/services/organic-certification/international-trade/how-does-usda-assess-organic-equivalency-other-countries#:~:text=Like%20the%20U.S.%2C%20many%20countries.each%20country%20where%20they%20operate>.

Van Bruggen, A. H., He, M. M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K. C., Finckh, M. R., & Morris Jr, J. G. (2018). Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the Total Environment*, 616, 255-268.

Viechtbauer, W., & Viechtbauer, M. W. (2015). Package 'metafor'. The Comprehensive R Archive Network. Package 'metafor'. Link: <https://cran.r-project.org/web/packages/metafor/metafor.pdf>

Westphal, C., Steffan-Dewenter, I., & Tschardt, T. (2003). Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. *Ecology Letters*, 6, 961-965.