

Control biológico por conservación: Conceptos claves, estrategias y avances para construir una agroecología sostenible

Conservational biological control: Key concepts, strategies and advances to build a sustainable agroecology

Gabriel A. Macchia*

Grupo de Entomología Edáfica del Sudeste Bonaerense-Instituto de Biodiversidad y Biotecnología-
CONICET y Fundación para Investigaciones Biológicas Aplicadas (FIBA), Mar del Plata, Buenos
Aires, Argentina

Revista de la Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

ISSN: 1669-9513

Periodicidad: Continua

vol. 123, 2024

redaccion.revista@agro.unlp.edu.ar

Recepción: 9 noviembre 2022

Aprobación: 12 marzo 2024

Publicación: octubre 2024

URL: <http://portal.amelica>

DOI: <https://doi.org/10.24215/16699513e143>

***Autor de correspondencia:** gabrielmacchia@gmail.com



Resumen

El control biológico por conservación (CBC) ofrece un camino prometedor para las nuevas prácticas agroecológicas sostenibles que permitan hacer un uso razonable de los recursos disponibles. Estas prácticas involucran la participación de múltiples áreas del conocimiento que convergen con el fin de asegurar la coexistencia entre las actividades agropecuarias y el ecosistema que las rodea. En este escenario, los insectos cumplen un rol fundamental como principales depredadores/parasitoides de otros insectos que son plagas de cultivos. Entender las múltiples y variadas interacciones que tienen lugar en los campos de cultivo es crucial para las investigaciones en control biológico. Esto permitiría tomar medidas de control sin descuidar el equilibrio de estos ecosistemas. Por esta razón gran parte de los esfuerzos de estas prácticas están relacionadas a la conservación y protección de los insectos. En este trabajo se busca hacer un resumen de la literatura más reciente sobre los conceptos relacionados al CBC, su implicancia económica y las proyecciones futuras.

Palabras clave: Enemigos naturales, memoria ecosistémica, control biológico por conservación

Abstract

The conservational biological control (CBC) provides a promising way to the new sustainable agroecological practices that allow a reasonable use of the available resources. These practices involve the participation of multiple fields of knowledge that converge to claim the coexistence between the farming activities and the neighboring environment. In this stage, insects have a primary role as the main predators/parasitoids of other insects that are farm plagues. Furthermore, to understand the multiple and diverse interactions that occur in the farm are crucial to the research in biological control. In this way, it may allow to take measure without neglect the ecosystem equilibrium. For this reason, great part of these practices' efforts is related to the protection and conservation of insects. The aim of this work is to review the recent literature about the related concepts to CBC, the economic implications, and the future projections.

Key words: Natural enemies, ecosystemic memory, conservational biological control

INTRODUCCIÓN

El control biológico se basa en la utilización de organismos vivos (por ejemplo, los enemigos naturales) y/o sus derivados (aleloquímicos, antibióticos, etc.) para controlar o eliminar a otros organismos vivos que pueden resultar perjudiciales para los cultivos o puedan ser vectores de enfermedades para el hombre o animales. En el control biológico por conservación (CBC) se busca aplicar las estrategias del control biológico clásico teniendo como principal objetivo la conservación de los enemigos naturales en el ecosistema que habitan. Por esta razón el CBC reúne conocimientos atravesados por distintas temáticas y disciplinas dentro de la biología. El vínculo fundamental entre estas áreas del conocimiento puede verse reflejado en el rol que cumplen ciertos animales como los artrópodos, pequeños mamíferos, reptiles, anfibios y aves dentro de la trama trófica. Estas especies a su vez ejercen de alguna manera y con distintos mecanismos un control biológico natural de plagas de agricultura o vectores de enfermedades de plantas, animales y humanos. Estas interacciones son múltiples, complejas y no solo implican las relaciones depredador/presa o parasitoide/hospedador sino también otras relaciones de competencia entre distintas presas o depredadores. También se establecen relaciones con el ecosistema que los rodea, así como con los sitios de cría y reproducción de estas especies (por ejemplo, los *beetle banks*). Estas interacciones son mejor catalogadas hoy en día como respuestas características inducidas en los enemigos naturales, efectos no asociados a la consumición o efectos indirectos rasgo-específicos (Culshaw-Maurer et al., 2020; Peacor et al., 2020).

Históricamente el CBC ha comenzado a tener mayor relevancia en 1998 a partir de la publicación del libro *Conservational Biological Control* (Barbosa, 1998). El control biológico por conservación puede ser realizado mediante la introducción de especies exóticas para controlar a una plaga o, como se mencionó más arriba, mejorar las condiciones de los posibles organismos controladores que ya existen en el ambiente. Según Ehler (1998), estos organismos tienen tres características en común para ser considerados como buenos candidatos para ser agentes controladores: 1) Habilidad de colonización, que le permite a la especie controladora re-colonizar o permanecer frente a las disrupciones del hábitat, 2) Persistencia temporal, sobre todo cuando la especie plaga no se encuentre presente, es decir que en ausencia de ésta pueda depredar o parasitar otras presas y, por último, 3) Un hábito oportunista, que le permita rápidamente explotar la población de presas cuando ésta aparezca. Estas definiciones son importantes para elegir a las especies que son buenas controladoras y enfocarse en ellas y en su conservación, que implica como se verá más adelante, la conservación de la flora y la fauna asociada a ellas. Estos procesos están fuertemente vinculados con otros procesos ecológicos observados en estos ecosistemas modificados como son la memoria y la ingeniería ecosistémicas. Estos temas se desarrollarán más adelante.

La mayor parte de la literatura en esta temática, a pesar de sus múltiples aplicaciones, ha preponderado mayoritariamente en las aplicaciones agroecológicas en vistas de mitigar los efectos adversos de los usos tradicionales de agroquímicos e insecticidas en los campos de cultivo. El uso constante de estos productos trae aparejadas consecuencias tanto medioambientales como en la salud humana (Gontijo, 2019; Snyder, 2019).

El objetivo de este trabajo será aportar una síntesis de los conocimientos y aplicaciones del concepto de control biológico por conservación desde una mirada agroecológica, considerando los beneficios tanto ecológicos como económicos que conllevan estas prácticas cuando son aplicadas teniendo en cuenta la conservación de las especies involucradas como el ambiente que los rodea.

¿QUÉ BENEFICIOS TIENE PROTEGER LA BIODIVERSIDAD EN UN ECOSISTEMA?

Proteger la biodiversidad últimamente ha sido uno de los lemas principales en el mundo científico dada la creciente pérdida de esta por el aumento de las actividades antrópicas, el uso intensivo y extensivo de la tierra para actividades agrícolas y el cambio climático entre las cuestiones más destacadas. La pérdida de biodiversidad de insectos, que son por lejos los animales más abundantes del planeta, augura cambios irremediables e irreversibles en la mayoría de los ecosistemas debido a las múltiples funciones y el gran aporte de beneficios que éstos le brindan (Leather, 2018; Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019). La pérdida o reducción de hábitat debido a los factores antes mencionados y a catástrofes naturales de consecuencias mundiales como han sido recientemente los incendios en la Amazonia, en Australia y en África, ha provocado que muchas especies se vean gravemente afectadas. Esto se ve reflejado sobre todo en muchos órdenes de insectos que juegan un rol importante en la polinización como las abejas, más aun las abejas nativas (Jonsson et al., 2017; Leather, 2018; Buchori et al., 2019; Drossart y Gérard, 2020). También en otros órdenes como los coleópteros entre los que se encuentran muchas familias que son importantes bioindicadores ambientales como los coleópteros de la familia Carabidae y Scarabeidae entre los coleópteros

terrestres. Lo mismo sucede con los humedales donde muchos insectos acuáticos juegan un rol crucial como bioindicadores ambientales y como principales depredadores, tal es el caso de los órdenes Odonata, Ephemeroptera y algunas familias de Coleoptera como Hydrophilidae, Hydraenidae y Dytiscidae (Aydoğan et al., 2016; Homburg et al., 2019; Harris et al., 2019; Lehmitz et al., 2020).

Entre los artrópodos que habitan un determinado lugar, ya sea un ecosistema natural o un neo-ecosistema producto de la alteración o remoción del ecosistema original, como sucede en un sistema agroecológico, existen interacciones inter e intra específicas entre éstos que regulan, modifican e incluso pueden llevar a la extinción las poblaciones de los mismos (Snyder, 2019). Estas interacciones están ligadas a factores extrínsecos e intrínsecos que regulan las poblaciones de depredadores y de presas, tales como el ciclo de vida, la disponibilidad de nutrientes, la competencia, la variabilidad propia del ecosistema, entre otros (Jonsson et al., 2017). Por lo tanto, el principal beneficio de conocer la biodiversidad de un determinado lugar ya sea un ecosistema natural o un ecosistema nuevo es proveer el marco ecológico para poder entender cuáles son los posibles enemigos naturales de los insectos plaga y las múltiples interacciones que puede haber en el lugar y las pautas a seguir para conservarlas. Ya que no se puede conservar lo que no se conoce (Gontijo, 2019; Culshaw-Maurer et al., 2020).

CBC Y AGROECOLOGÍA

Panorama general y servicios ecosistémicos

En las últimas décadas han ido saliendo a luz diferentes maneras de interpretar el rol que los artrópodos pueden jugar en diferentes ambientes naturales y en los utilizados para actividades humanas. En muchos casos estos nuevos ambientes como son los campos de cultivo son una importante fuente económica para muchas ciudades y países como el caso de Argentina que tienen un fuerte modelo económico agroexportador. Estos cultivos son propensos a sufrir enfermedades producidas por hongos, bacterias y virus además de ser atacados por diferentes especies de insectos que pueden ser agentes transmisores de enfermedades o depredadores de los mismos (Abdallah et al., 2019; de Souza Pacheco et al., 2020; Krause-Sakate et al., 2020). Además en los últimos años se ha comenzado a presenciar que el uso tradicional de insecticidas y agroquímicos produce graves daños ambientales no solo en el campo y en los ecosistemas sino también en poblaciones humanas (Hendges et al., 2019; Soto et al., 2019; Rossetti et al., 2020; Wanger et al., 2020). Debido a esto, en los últimos años se ha comenzado a prestar más atención a los servicios ecosistémicos que las especies de depredadores nativos pueden aportar en estos nuevos ecosistemas agroecológicos, ver cuadro conceptual en Figura 1. El concepto de servicios ecosistémicos ha pasado por varias interpretaciones, pero se podría resumir diciendo que son aquellos servicios que las especies que habitan en un determinado ecosistema le prestan al mismo como el control de plagas, la polinización o la fertilización (al incorporar por ejemplo las heces en el suelo en el caso de coleópteros coprófagos) y que, por ende, también se lo prestan indirectamente a la población que luego consume esos cultivos (La Notte et al., 2017).

En las investigaciones más recientes se empezó a hacer más hincapié en el manejo agroecológico de los cultivos frente al tradicional, demostrando que este tipo de manejo no solamente es mejor en términos de salud ambiental, sino que es necesario para revertir la pérdida de biodiversidad asociada a los tradicionales monocultivos con usos intensivos de insecticidas y herbicidas. En un cultivo agroecológico el manejo de los campos se hace de manera sostenible utilizando cultivos rotativos en distintas estaciones para no alterar las condiciones del suelo. Se emplean además fertilizantes naturales como por ejemplo el cultivo de pequeñas leguminosas entre las plantas de cultivo como el trébol *Triticum* spp. que permite fijar nitrógeno al suelo al formar nódulos con bacterias rizobiales, o utilizando otros tipos de biofertilizantes provenientes de microorganismos en lugar de los desarrollados con agroquímicos (Sun et al., 2020). En estos campos se promueve también el uso de enemigos naturales para controlar insectos plaga como práctica sostenible en lugar de utilizar plaguicidas químicos. Afortunadamente en nuestro país se comenzó a investigar y a aplicar técnicas de CBC en muchos campos con manejo agroecológico para distintos cultivos (Salas Gervassio et al., 2016; Berensztein et al., 2017; Peñalver-Cruz et al., 2019; Baker et al., 2020).

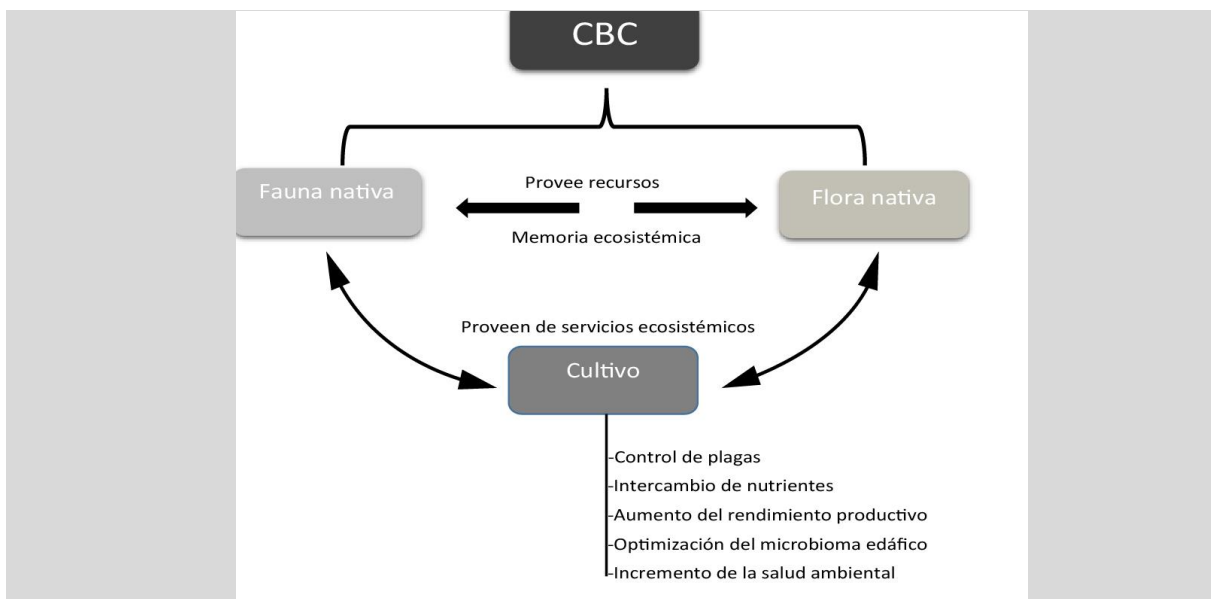


FIGURA 1

La vegetación nativa cumple un rol clave para el desarrollo y conservación de la fauna nativa (tanto invertebrados como pequeños vertebrados). Esta provee de alimentos, sitios de nidificación, refugio entre otras cosas, y los insectos como los polinizadores favorecen la reproducción de estas. A su vez que se mantiene un equilibrio entre los distintos grupos que componen la trama trófica. Las diversas interacciones y las especies que componen estos ecosistemas conservan y manifiestan la memoria ecosistémica de dichas comunidades. Además, estas especies serán las que brinden sus servicios ecosistémicos a los campos de cultivo circundantes. Entre estos beneficios podemos mencionar el control de insectos plaga o vectores de enfermedades, el intercambio de nutrientes ya que por ejemplo las leguminosas nativas pueden favorecer la incorporación del nitrógeno al suelo, lo que se traducirá en un mejor rendimiento productivo. Por último, esto traerá beneficios en materia de salud ambiental por la baja en el uso de insecticidas y agroquímicos.

Corredores biológicos y memoria ecosistémica

En la literatura pueden encontrarse numerosos trabajos que evidencian que la construcción de espacios que alberguen artrópodos en estos campos no solo es una medida favorable para conservar la biodiversidad sino que también permite la aparición natural de insectos y arácnidos benéficos que controlan a otros insectos plaga (Togni et al., 2019; Baker et al., 2020; Holland et al., 2020). Para lograr que los artrópodos se instalen y puedan brindar los servicios ecosistémicos esperados, en este caso el control biológico de especies plaga para la agricultura, es fundamental que en el campo y sus alrededores se provean las condiciones para favorecer los factores intrínsecos de estas especies como son los refugios, los sitios de nidificación, etc. (Gontijo, 2019). Esto se logra permitiendo que haya sitios no cultivados entre los cultivos, como por ej. terrazas de cultivo, pastizales, u otros sitios donde se conserve la vegetación nativa del lugar. Estos parches de vegetación nativa además de contener elementos florísticos propios del lugar y ser en sí mismos valiosos por conservar esa flora, brindan refugios y sitios de nidificación de los artrópodos benéficos actuando de esta manera como ingenieros ecosistémicos (Gutiérrez y Jones, 2008; Rodríguez et al., 2019; Thurman et al., 2019; Schifani et al., 2020).

En estas zonas de flora nativa se llevan a cabo muchas de las interacciones como las nombradas más arriba que regulan las poblaciones de insectos plaga y sus controladores. Estas áreas funcionan como bancos de crecimientos conocidos como *beetle Banks*, *spider Banks*, etc., ya que albergan a la artropodofauna nativa. Además funcionan como corredores biológicos que comunican distintos ecosistemas que atraviesan o rodean los campos de cultivo como sucede en la Reserva Natural Privada Paititi en el Partido de General Pueyrredón (Provincia de Buenos Aires) donde se alternan áreas de cultivo con áreas de crecimiento de nativas que funcionan también como corredores entre el campo y las sierras permitiendo la circulación de artrópodos entre los distintos ambientes que atraviesan los cultivos y le aportan a este los enemigos naturales de los posibles insectos plaga

(Arcusa, 2016). Los corredores biológicos mantienen vigentes la memoria ecosistémica de un determinado sitio. La memoria ecosistémica o memoria ecológica es definida por Padisák (Padisák, 1992; Bergeron et al., 2017) como la capacidad de los estados o experiencias pasadas para influenciar las respuestas presentes y futuras de las comunidades. Peterson agrega sobre este concepto cómo estas modificaciones pasadas influyen en la forma que tendrán los procesos ecológicos en el paisaje (Peterson, 2002). Más adelante, Ogle et al. (2015) hablan sobre la temporalidad de la memoria ecosistémica y lo dividen en tres partes fundamentales: 1) La duración de la memoria, que implica el periodo o períodos de tiempo por el cual los estados pasados afectan a los actuales, 2) El patrón temporal de la memoria que se caracteriza por cómo varían en importancias de condiciones relativas aquellas que se manifiestan en diferentes tiempos, incluyendo los momentos de “pausa”, y 3) La fuerza de la memoria que establece cómo los anteriores estados afectan los procesos de interés (Ogle et al., 2015). Además de esto podemos diferenciarlos entre procesos exógenos y endógenos que afectan la memoria ecosistémica. Los primeros, externos a las comunidades y los segundos, propios de las mismas. En el caso de los campos con manejo agroecológico estos procesos son cruciales para comprender cómo se recupera el ecosistema una vez que ha sido modificado por la actividad agropecuaria y que luego con prácticas sostenibles de cultivo agroecológico podrá ser rehabilitada. Esto puede lograrse construyendo o estableciendo zonas dentro y fuera del campo que permitan el desarrollo de comunidades de flora y fauna nativa. Esta recuperación, como se ha documentado en casos de entomofauna urbana, a veces hasta favorece más al aumento y conservación de la biodiversidad que la que había anteriormente (Ogle et al., 2015; Bergeron et al., 2017; Castro et al., 2020).

Interacciones

Entender las interacciones biológicas que se dan entre los organismos que habitan parches con vegetación nativa como entre los que actúan como plagas en los cultivos es fundamental elaborar las estrategias necesarias para implementar los mecanismos de control biológico por conservación, tal como se muestra en la Figura 2. Estas interacciones, como se expuso en la sección anterior, son parte de la memoria ecosistémica que tanto los predadores/parasitoides como las presas traen en sus historias evolutivas. Conocer a un depredador o parasitoide implica no solo conocer la interacción entre depredador/parasitoide y presa, sino también conocer la historia de vida de ambos (fenología y bionomía) y las interacciones con las demás especies y su entorno (taxocenosis). Por ejemplo, un parasitoide como la mosca *Toxomerus* sp. (Diptera, Syrphidae), cuyas larvas pueden parasitar larvas de distintos lepidópteros plaga, necesita de plantas con flores a las cuales el adulto visita para alimentarse y polinizarlas. Esto mismo sucede con muchas avispas (Hymenoptera) parasitoides (Macchia obs. pers.) o con muchos arácnidos que utilizan las flores para cazar a sus presas como la araña cangrejo *Misumenops* sp. (Thomisidae, Araneae), o usan el espacio entre éstas y el suelo para habitar y preñar (Jirón-Pablo et al., 2018; Telles et al., 2019; Saqib et al., 2020).

Los ejemplos para coleópteros y hemípteros depredadores tienen los mismos escenarios dando a entender como estos sitios son tan importantes como las interacciones que se dan en ellos (Jonsson et al., 2017; Snyder, 2019). Así también podríamos mencionar todas las interacciones entre insectos que utilizan el mismo recurso, como por ejemplo escarabajos estercoleros (Scarabeidae, Aphodidae), que compiten con moscas que se desarrollan en las heces (Sarcophagidae, Calliphoridae, entre otras). Esta interacción no implica un comportamiento de depredación sino de competencia en la que los coleópteros coprófagos suelen ser más efectivos en el uso del recurso. Si bien las moscas no son plagas de agricultura, tienen la capacidad de transportar en su cuerpo agentes patógenos como la bacteria *Escherichia coli* O157 de las heces a los cultivos (Jones et al., 2019a; 2019b). Como se ve esta interacción afecta no solo a insectos sino también a microorganismos patógenos del ser humano y es un claro ejemplo de cómo las relaciones e interacciones entre los organismos son muy complejas y es necesario conocerlas detalladamente al encarar programas de control biológico por conservación.

Especies exóticas o exóticas invasivas vs. Nativas ¿qué estrategias usar?

La controversia entre el uso de especies exóticas versus especies nativas no es algo nuevo. Una especie exótica es una especie que no pertenece al lugar en el que está actualmente presente. Puede ser que la especie provenga de otro país, región o continente o que esté presente en el país, pero fuera de su distribución geográfica original. Tal es el caso por ejemplo del Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*) que se lo puede encontrar en Buenos Aires en muchas veredas y parques, pero originalmente la planta es nativa de las provincias del NOA como Tucumán y Jujuy, entonces en Buenos Aires este árbol no sería nativo sino exótico. También una especie puede ser clasificada como invasiva cuando el lugar en el que está presente no solo es diferente al de su distribución



FIGURA 2

En los parches de vegetación nativa se llevan a cabo las complejas interacciones entre las distintas especies. Estos parches a su vez funcionan como sitios de cría y refugio de distintas especies (beetle banks, spider banks). El esquema refleja brevemente estas interacciones. La dirección de las flechas indica las interacciones depredador-presa. Nótese que algunos depredadores son presas de otras especies, esta interacción se conoce como depredación entre gremios. También existe la competencia de distintos predadores que consumen la misma presa como se muestra en la figura. Al desplazar una especie del ecosistema se modifica el equilibrio de las interacciones. Esta es una propiedad de estos ecosistemas que son utilizados como estrategia de CBC si se quiere desplazar el equilibrio en favor de una/as especies para controlar una plaga en particular.

original (especie exótica), sino que además es capaz de desplazar (e incluso llevar al borde de la extinción) a las especies nativas con las que compite por los recursos, al ser más efectiva. Este es el caso por ejemplo de la acacia negra (*Acacia melanoxylon*) en las sierras del sudeste bonaerense donde llega a formar bosques en los que solo crecen acacias debido a que en las hojas que caen al suelo presenta aleloquímicos que inhiben el crecimiento de otras plantas (Echeverría et al., 2017). El caso de las acacias es un ejemplo de cómo estas especies exóticas cuando son invasivas no solo eliminan la competencia, sino que también modifican el ecosistema teniendo consecuencias (para algunas especies positivas y para otras negativas) sobre la entomofauna y otras especies de plantas que habitaba allí. Clasificar a una especie como invasiva no es tarea sencilla y ha tenido muchas controversias a lo largo del tiempo (Pereyra, 2016). En síntesis podríamos decir que una especie invasiva desplaza o elimina a sus contrapartes nativas, se reproduce y dispersa a un ritmo acelerado, incluso más que en el ambiente donde es nativa y además modifica el ecosistema donde se instala (Sher et al., 2018).

Estos conceptos son los que también se aplican a los insectos. A lo largo del tiempo han existido múltiples invasiones biológicas, a veces debido a catástrofes o eventos naturales, (cómo por ejemplo la llegada de camalotales desde el Río Paraná hasta la cuenca del Río de La Plata donde luego baja por sus afluentes), pero muchas otras veces la dispersión se da por antropocoria (dispersión por el hombre) sea intencional o no. Tal es el caso de las invasiones de la hormiga argentina *Linepithema humile* en Norteamérica donde esta especie tiene un comportamiento mucho más agresivo que el que tiene en nuestro país y desplaza a las hormigas nativas. Otro ejemplo es la distribución del mosquito vector del dengue *Aedes aegyptis* originario de Asia y hoy disperso en varios continentes. De esta manera se podrían enumerar una larga lista de especies.

En el caso del control biológico clásico hay un uso intencional de especies exóticas para controlar especies plaga que también son mayoritariamente exóticas debido a que las plantas cultivadas

también lo son (Holmes et al., 2016). Estas especies exóticas se pueden encontrar en equilibrio con las especies nativas con las que cohabitan, en cuyo caso no existiría inconveniente, pero muchas veces estas especies exóticas pueden volverse invasivas y comenzar a desplazar a las especies autóctonas que además de ser nativas muchas veces son endémicas, es decir su rango de distribución está acotado a unos pocos ambientes particulares. Un caso emblemático de especie exótica invasiva que fue introducida como agente de control biológico es el coccinélido *Harmonia axyridis* (Coleoptera, Coccinellidae) conocido en nuestro país como vaquita de San Antonio o mariquita y en el habla inglesa como *Asian lady beetle* (Diepenbrock et al., 2016). Este coleóptero es un voraz depredador tanto el adulto como la larva de importantes insectos plaga como los pulgones (Sternorrhyncha, Aphidoidea). Esta especie luego de su introducción se dispersó por casi todos los continentes y en Argentina, donde esta introducida intencionalmente desde 1986, se encuentra monitoreada para controlar su población debido a que afecta gravemente a las poblaciones de coccinélidos nativos con los que compite y además afecta a otros insectos que no son plaga de los que se alimenta (Koch et al., 2006; Werenkraut et al., 2020). Otro ejemplo que sucede en Europa y que también comenzó a observarse en nuestro país es la introducción de *Vespula germanica* o chaqueta amarilla que es una avispa (Hymenoptera, Vespidae) depredadora que afecta a las poblaciones de la abeja de la miel *Apis mellifera ligustica* y también a las poblaciones de abejas nativas (Lester y Beggs, 2019).

La utilización de especies exóticas en control biológico puede ser peligrosa debido a que no se puede saber a priori el comportamiento que tendrá la especie en el nuevo ambiente donde se introduce. Por eso en los últimos años se ha incrementado e incentivado el empleo de especies nativas como controladoras de las plagas de agricultura. Este es el foco principal que tiene el control biológico por conservación, promoviendo la protección de los ambientes de las especies de enemigos naturales nativos junto con todos los procesos ecosistémicos relacionados, desde la biología del controlador y su presa hasta las interacciones entre todas las especies presentes, el ambiente y los mecanismos de conservación (Kruitwagen et al., 2018; Snyder, 2019).

Ventajas económicas del cbc frente a las técnicas tradicionales

Anualmente los gastos que implican las aplicaciones de insecticidas y herbicidas en los cultivos suponen un presupuesto más que importante en el balance de cuenta de los productores. Al finalizar los años de cultivo parte de las ganancias de los productores se pierde tras el presupuesto de los insecticidas. Monzó y Stansly (2020) realizan un modelado matemático para poner a prueba el gasto que deviene de la aplicación de insecticidas para controlar al insecto vector de la enfermedad de los cítricos Huanglongbing transmitido por *Diaphorina citri* (Hemiptera, Liviidae) y producido por la bacteria *Candidatus liberibacter* (Rhizobiaceae). El cultivo de naranjas es una actividad agrícola muy importante en el estado de Florida (donde se desarrolla el estudio). En el modelado matemático los autores proponen distintos escenarios que tienen diferentes frecuencias de aplicación de insecticidas y comparan estos con la utilización de enemigos naturales para controlar al insecto vector. Los autores estimaron que la pérdida total por no considerar el CBC y aplicar insecticidas anualmente es del 36,42% de la producción y en casos donde solo se aplican dos veces insecticidas en etapas clave del ciclo de vida del agente vector el gasto es del 28,2% del total de la producción. Aun frente a este panorama y el gasto que acarrea, los autores advirtieron que en los cultivos de cítricos la implementación de técnicas de CBC va en descenso frente al mayor uso de plaguicidas. Estas estimaciones de los gastos de la producción que viene asociados a la aplicación de los insecticidas y plaguicidas observadas en el trabajo mencionado, se replican en muchos otros cultivos alrededor del mundo incluyendo nuestro país (Zhang et al., 2018; Cruz et al., 2018; Huang et al., 2018; Paredes et al., 2019). Revertir la utilización de insecticidas en cualquier régimen de aplicación es una tarea que la ciencia debe proponerse para concientizar a pequeños, medianos y grandes productores sobre los beneficios tanto económicos como ambientales que supone el uso de controladores naturales sobre las plagas agrícolas.

PROYECCIONES FUTURAS Y CONCLUSIONES

Organizar un plan de trabajo de CBC implica mucho más que elegir que especie es buena candidata para controlar a una plaga. Como se ha argumentado es necesario conocer todas las interacciones existentes entre estas especies y el resto del ecosistema, así como también la historia presente y pasada del ambiente en estudio. Además, es necesario planear como se manejarán y organizarán los sitios que se elijan para su función de corredores biológicos dentro de los campos.

La protección del medio ambiente es un tema que en varias esferas gubernamentales comienza a tener una mayor relevancia. Un ejemplo es el cuidado de la biodiversidad propuesto por las Naciones Unidas como uno de sus ejes en los objetivos para el desarrollo sostenible (ODS) a alcanzar en 2030 en particular los ODS 13 y 15 (O.N.U., 2024) pero interconectado con el resto de los objetivos y adoptado por todos los países miembros entre los que se encuentra Argentina. Por lo tanto, comenzar a usar técnicas de CBC es algo que desde la gestión gubernamental se hace cada más imperioso (Duval y Benedetti, 2019). Esto aún sigue siendo difícil por lo que una de las tareas importantes de la comunidad científica debe ser asesorar a los pequeños, medianos y grandes productores sobre los beneficios económicos y ambientales que trae asociado las prácticas de CBC frente a las prácticas tradicionales.

Por último, cabe destacar que estos conceptos no se limitan solo a las prácticas agroecológicas, sino que pueden ser aplicados en el futuro para controlar insectos vectores de enfermedades como los mosquitos. Existen investigaciones en torno a la importancia de la conservación de los enemigos naturales de mosquitos que depredan sobre sus estados inmaduros en los cuerpos de agua por lo que es importante incorporar estas estrategias y planificar por ejemplo la construcción de humedales artificiales y salvaguardar aquellos lugares donde estos insectos se reproducen tanto de manera natural como artificial (Macchia, obs. pers.) lo que puede mejorar las poblaciones de mosquitos y disminuir las aplicaciones de insecticidas con las consecuencias que esto trae aparejado (Marazzi et al., 2019; Buxton et al., 2020; Huikkonen et al., 2020).

BIBLIOGRAFÍA

- Abdallah, F., Ghanim, A., El-Serafi, H. A. K. y Al-Damrawy, M. A.** (2019). Effect of different Planting Dates on the Occurrence of Main Predators Inhabiting Five Maize Varieties. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 10, 427–430. <https://doi.org/10.21608/jppp.2019.59758>
- Arcusa, J. M.** (2016). Efecto de un incendio sobre el ensamble de hormigas de la Reserva Natural Privada Paititi, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 75(3-4), 127-134.
- Aydođan, Z., Gürol, A. y Incekara, Ü.** (2016). The investigation of heavy element accumulation in some Hydrophilidae (Coleoptera) species. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 204. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5197-3>
- Barbosa, P. A.** (1998). *Conservation Biological Control*. Elsevier.
- Baker, B. P., Green, T. A. y Loker, A. J.** (2020). Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. *Biological Control*, 140, 104095. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104095>
- Berensztein, D., Ricci, M., Polack, L. A. y Edith, M.** (2017). Control biológico por conservación: evaluación de los enemigos naturales de *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) en un manejo agroecológico de producción al aire libre de repollo (*Brassica oleracea*) del Cinturón Hortícola de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 116(1), 141-154.
- Bergeron, J. A. C., Pinzon, J., Odsen, S., Bartels, S., Macdonald S. E. y Spence, J. R.** (2017). Ecosystem memory of wildfires affects resilience of boreal mixedwood biodiversity after retention harvest. *Oikos*, 126, 1738–1747. <https://doi.org/10.1111/oik.04208>
- Buchori, D., Rizali, A., Priawandiputra, W., Sartiami, D. y Johannis, M.** (2019). Population Growth and Insecticide Residues of Honeybees in Tropical Agricultural Landscapes. *Diversity*, 12,1. <https://doi.org/10.3390/d12010001>
- Buxton, M., Cuthbert, R. N., Dalu, T., Nyamukondiwa C., y Wasserman, R. J.** (2020). Complementary impacts of heterospecific predators facilitate improved biological control of mosquito larvae. *Biological Control*, 144, 104216. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104216>
- Castro, A. V., Porrini, D. P., Lupo, S. y Cicchino, A. C.** (2020). Minimal stories in Southeast Buenos Aires grasslands: carabid beetle biodiversity throughout an urban-rural gradient. *Urban Ecosystems*, 23, 331–343. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00925-y>
- Cruz, R., De Castro, I. y Sáez, R.** (2018). Los costos de producir soja en las pequeñas empresas chaqueñas. Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas de la UNNE*, 19, 135-149.
- Culshaw-Maurer, M., Sih, A. y Rosenheim, J. A.** (2020). Bugs scaring bugs: enemy-risk effects in biological control systems. *Ecology Letters*, 23, 1693–1714. <https://doi.org/10.1111/ele.13601>
- de Souza Pacheco, I., Manzano Galdeano, D., Spotti Lopes, J. R. y Machado, M. A.** (2020). Development on infected citrus over generations increases vector infection by 'Candidatus

- Liberibacter Asiaticus' in *Diaphorina citri*. *Insects*, 11(7), 469. <https://doi.org/10.3390/insects11080469>
- Diepenbrock, L. M., Fothergill, K., Tindall, K. V., Losey, J. E., Smyth, R. R. y Finke, D. L.** (2016). The Influence of Exotic Lady Beetle (Coleoptera: Coccinellidae) Establishment on the Species Composition of the Native Lady Beetle Community in Missouri. *Environmental Entomology*, 45, 855–864. <https://doi.org/10.1093/ee/nvw065>
- Drossart, M. y Gérard, M.** (2020). Beyond the decline of wild bees: Optimizing conservation measures and bringing together the actors. *Insects*, 11(9), 649. <https://doi.org/10.3390/insects11090649>
- Duval, V. S. y Benedetti, G. M.** (2019). Política de conservación del patrimonio natural en Argentina. *Finisterra*, 54(111), 101-118. <https://doi.org/10.18055/Finis17108>
- Echeverría, M. L., Alonso, S. I. y Comparatore, V. M.** (2017). Survey of the vascular plants of Sierra Chica, the untouched area of the Paititi Natural Reserve (southeastern Tandilia mountain range, Buenos Aires province, Argentina). *Check List*, 13(6), 1003-1036. <https://doi.org/10.15560/13.6.1003>
- Ehler, L. E.** (1998). Conservational Biological Control: Past, present and future. En P. A. Barbosa (Ed.), *Conservation Biological Control* (pp. 1-8). Elsevier.
- Gontijo, L. M.** (2019). Engineering natural enemy shelters to enhance conservation biological control in field crops. *Biological Control*, 130, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.10.014>
- Gutiérrez, J. L., y Jones, C. G.** (2008). Ecosystem Engineers. En J. Wiley & Sons (Eds.), *Encyclopedia of Life Sciences*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0021226>
- Harris, J. E., Rodenhouse, N. L. y Holmes, R. T.** (2019). Decline in beetle abundance and diversity in an intact temperate forest linked to climate warming. *Biological Conservation*, 240, 108219. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108219>
- Hendges, C., Schiller, A. D. P., Manfrin, J., Macedo Jr., E. K., Gonçalves Jr., A. C., y Stangarlin, J. R.** (2019). Human intoxication by agrochemicals in the region of South Brazil between 1999 and 2014. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 54(4), 219-225. <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1550300>
- Holland, J., Jeanneret, P., Moonen, A. C., van der Werf, W., Rossing, W., Antichi, D., Entling M., Giffard B., Helsen, H., Szalai, M., Rega, C., Gibert, C. y Veromann E.** (2020). Approaches to Identify the Value of Seminatural Habitats for Conservation Biological Control. *Insects*, 11, 195. <https://doi.org/10.3390/insects11030195>
- Holmes, L., Upadhyay, D. y Mandjiny, S.** (24-26 de febrero de 2016). *Biological control of agriculture insect pests* [Conferencia]. 2nd Pan-American Interdisciplinary Conference. Buenos Aires, Argentina.
- Homburg, K., Drees, C., Boutaud, E., Nolte, D. Schuett, W., Zumstein, P., Ruschkowski, E. y Assmann, T.** (2019). Where have all the beetles gone? Long-term study reveals carabid species decline in a nature reserve in Northern Germany. *Insect Conservation and Diversity*, 12(4), 268-277. <https://doi.org/10.1111/icad.12348>
- Huang, J., Zhou, K., Zhang, W., Deng X., Van der Werf, W., Lu, Y., Wu, K. y Rosegrant, M. W.** (2018). Uncovering the economic value of natural enemies and true costs of chemical insecticides to cotton farmers in China. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064027. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabfb0>
- Huikkonen, I. M., Helle, I. y Elo, M.** (2020). Heterogenic aquatic vegetation promotes abundance and species richness of Odonata (Insecta) in constructed agricultural wetlands. *Insect Conservation and Diversity*, 13(4), 374-383. <https://doi.org/10.1111/icad.12396>
- Jirón-Pablo, E., Martínez-Martínez, L. y Sánchez-García, J. A.** (2018). First record of toxomerus politus1 larvae preying on sentinel eggs of spodoptera frugiperda2 on Maize. *Southwestern Entomologist*, 43(2), 511-515. <https://doi.org/10.3958/059.043.0222>
- Jones, M.S., Fu, Z., Reganold, J.P., Karp, D.S., Besser, T.E., Tyljanakis, J.M. y Snyder, W.E.** (2019a). Organic farming promotes biotic resistance to foodborne human pathogens. *Journal of Applied Ecology*, 56(5), 1117-1127. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13365>
- Jones, M. S., Wright, S. A., Smith, O. M., Besser, T. E., Headrick, D. H., Reganold, J. P., Crowder, D. W. y Snyder, W. E.** (2019b). Organic farms conserve a dung beetle species capable of disrupting fly vectors of foodborne pathogens. *Biological Control* 137, 104020. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104020>
- Jonsson, M., Kaartinen, R. y Straub, C. S.** (2017). Relationships between natural enemy diversity and biological control. *Current Opinion in Insect Science*, 20, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.01.001>

- Koch, R. L., Venette, R. C. y Hutchison, W. D.** (2006). Invasions by *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) in the western hemisphere: implications for South America. *Neotropical Entomology*, 35(4), 421-434. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000400001>
- Krause-Sakate, R., Watanabe, L. F. M., Gorayeb, E. S., da Silva, F. B., Alvarez, D. de L., Bello, V. H., Nogueira, A. M., de Marchi, B. R., Vicentin, E., Ribeiro-Junior, M. R., Marubayashi, J. M., Rojas-Bertini, C. A., Muller, C., Bueno, R. C. O. de F., Rosales, M., Ghanim, M. y Pavan, M. A.** (2020). Population dynamics of whiteflies and associated viruses in South America: Research progress and perspectives. *Insects*, 11(12), 847. <https://doi.org/10.3390/insects11120847>
- Kruitwagen, A., Beukeboom, L. W. y Wertheim, B.** (2018). Optimization of native biocontrol agents, with parasitoids of the invasive pest *Drosophila suzukii* as an example. *Evolutionary Applications*, 11(8), 1473–1497. <https://doi.org/10.1111/eva.12648>
- La Notte, A., D'Amato, D., Mäkinen, H., Paracchini, M.L., Liqueste, C., Egoh, B., Geneletti, D., y Crossman, N. D.** (2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. *Ecological Indicators*, 74, 392–402. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.030>
- Leather, S. R.** (2018). “Ecological Armageddon” - More evidence for the drastic decline in insect numbers: Insect declines. *Annals of Applied Biology*, 172(1), 1–3. <https://doi.org/10.1111/aab.12410>
- Lehmitz, R., Haase, H., Otte, V. y Russell, D.** (2020). Bioindication in peatlands by means of multi-taxa indicators (Oribatida, Araneae, Carabidae, Vegetation). *Ecological Indicators*, 109, 105837. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105837>
- Lester, P. J., y Beggs, J. R.** (2019). Invasion success and management strategies for social *Vespula* wasps. *Annual Review of Entomology*, 64, 51–71. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011118-111812>
- Marazzi, L., Gaiser, E., Eppinga, M., Sah, J., Zhai, L., Castañeda-Moya, E. y Angelini, C.** (2019). Why do we need to document and conserve foundation species in freshwater wetlands? *Water*, 11(2), 265. <https://doi.org/10.3390/w11020265>
- Monzó, C. y Stansly, P.A.** (2020). Economic value of conservation biological control for management of the Asian citrus psyllid, vector of citrus Huanglongbing disease. *Pest Management Science*, 76(5), 1691–1698. <https://doi.org/10.1002/ps.5691>
- Ogle, K., Barber, J. J., Barron-Gafford, G. A., Bentley, L. P., Young, J. M., Huxman, T. E., Loik, M. E., y Tissue, D. T.** (2015). Quantifying ecological memory in plant and ecosystem processes. *Ecology Letters*, 18(3), 221–235. <https://doi.org/10.1111/ele.12399>
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). ONU. Objetivos de desarrollo sostenible.** Recuperado en 2024 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Padisák, J.** (1992). Seasonal succession of phytoplankton in a large shallow lake (Balaton, Hungary) – A dynamic approach to ecological memory, its possible role and mechanisms. *The Journal of Ecology*, 80(2), 217–230. <https://doi.org/10.2307/2261008>
- Paredes, D., Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., Benítez, E. y Campos, M.** (2019). Natural habitat increases natural pest control in olive groves: Economic implications. *Journal of Pest Science*, 92(3), 1111–1121. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01104-w>
- Peacor, S. D., Barton, B. T., Kimbro, D. L., Sih, A. y Sheriff, M. J.** (2020). A framework and standardized terminology to facilitate the study of predation risk effects. *Ecology*, 101(12), e03014. <https://doi.org/10.1002/ecy.3152>
- Peñalver-Cruz, A., Alvarez-Baca, J. K., Alfaro-Tapia, A., Gontijo, L. y Lavandero, B.** (2019). Manipulation of agricultural habitats to improve conservation biological control in South America. *Neotropical Entomology*, 48(5), 875–898. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00725-1>
- Pereyra, P. J.** (2016). Revisiting the use of the invasive species concept: An empirical approach. *Austral Ecology*, 41(4), 519–528. <https://doi.org/10.1111/aec.12340>
- Peterson, G. D.** (2002). Contagious disturbance, ecological memory, and the emergence of landscape pattern. *Ecosystems*, 5(4), 329–338. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0077-1>
- Rodríguez, J. R., Rossetti, M. R. y Videla, M.** (2019). Agroecológicas de Córdoba, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 11(1), 265–275.
- Rossetti, M. F., Stoker, C. y Ramos, J. G.** (2020). Agrochemicals and neurogenesis. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 510, 110820. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110820>
- Salas Gervasio, N. G., Luna, M. G., Lee, S., Salvo, A. y Sánchez, N. E.** (2016). Trophic web associated with the South American tomato moth *Tuta absoluta*: Implications for its conservation biological control in Argentina. *Agricultural and Forest Entomology*, 18(2), 137–144. <https://doi.org/10.1111/afe.12146>

- Sánchez-Bayo, F. y Wyckhuys, K. A. G.** (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Saqib, H. S. A., Chen, J., Chen, W., Pozsgai, G., Akutse, K. S., Ashraf, M. F., You, M. y Gurr, G. M.** (2020). Local management and landscape structure determine the assemblage patterns of spiders in vegetable fields. *Scientific Reports*, 10(1), 15130. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71888-w>
- Schifani, E., Castracani, C., Giannetti, D., Spotti, F. A., Reggiani, R., Leonardi, S., Mori, A. y Grasso, D. A.** (2020). New tools for conservation biological control: Testing ant-attracting artificial nectaries to employ ants as plant defenders. *Insects*, 11(2), 129. <https://doi.org/10.3390/insects11020129>
- Sher, A. A., El Waer, H., González, E., Anderson, R., Henry, A. L., Biedron, R. y Yue, P.** (2018). Native species recovery after reduction of an invasive tree by biological control with and without active removal. *Ecological Engineering*, 111, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.11.018>
- Snyder, W. E.** (2019). Give predators a complement: Conserving natural enemy biodiversity to improve biocontrol. *Biological Control*, 135, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.017>
- Soto, D. A., Luque, F. A. y Gnazzo, V.** (2019). Peces de consumo humano como indicadores de contaminación ambiental por plaguicidas en el norte de Misiones, Argentina. *Revista Argentina de Salud Pública*, 11(42), 7–14.
- Sun, B., Gu, L., Bao, L., Zhang, S., Wei, Y., Bai, Z., Zhuang, G. y Zhuang, X.** (2020). Application of biofertilizer containing *Bacillus subtilis* reduced the nitrogen loss in agricultural soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 148, 107911. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107911>
- Telles, F. J., González, F. G., Rodríguez-Gironés, M. A. y Freitas, L.** (2019). The effect of a flower-dwelling predator on a specialized pollination system. *Biological Journal of the Linnean Society*, 126(3), 521–532. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/bly184>
- Thurman, J. H., Northfield, T. D. y Snyder, W. E.** (2019). Weaver ants provide ecosystem services to tropical tree crops. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7, 120. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00120>
- Togni, P. H. B., Venzon, M., Souza, L. M., Sousa, A. A. T. C., Harterreiten Souza, É. S., Pires, C. S. S. y Sujii, E. R.** (2019). Dynamics of predatory and herbivorous insects at the farm scale: The role of cropped and noncropped habitats. *Agricultural and Forest Entomology*, 21(4), 351–362. <https://doi.org/10.1111/afe.12337>
- Wanger, T. C., DeClerck, F., Garibaldi, L. A., Ghazoul, J., Kleijn, D., Klein, A. M., Kremen, C., Mooney, H., Perfecto, I., Powell, L. L., Settele, J., Solé, M., Tscharntke, T. y Weisser, W.** (2020). Integrating agroecological production in a robust post-2020 global biodiversity framework. *Nature Ecology & Evolution*, 4(9), 1150–1152. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-1262-y>
- Werenkraut, V., Baudino, F. y Roy, H. E.** (2020). Citizen science reveals the distribution of the invasive harlequin ladybird (*Harmonia axyridis* Pallas) in Argentina. *Biological Invasions*, 22(9), 2915–2921. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02312-7>
- Zhang, H., Garratt, M. P. D., Bailey, A., Potts, S. G. y Breeze, T.** (2018). Economic valuation of natural pest control of the summer grain aphid in wheat in South East England. *Ecosystem Services*, 30, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.019>