

La biodiversidad y los servicios ecosistémicos en sistemas agroecológicos. Una revisión

Biodiversity and ecosystem services in agroecological systems. A review

Wendy Mercedes Ramírez-Suárez¹ <https://orcid.org/0000-0001-7554-8685>, Jorge Carlos López-Chouza² <https://orcid.org/0000-0002-8955-4629>, María de los Ángeles Flores-Acosta² <https://orcid.org/0000-0001-8410-6512>, Saray Sánchez-Cárdenas¹ <https://orcid.org/0000-0002-5840-402X> y Pedro Lázaro Rodríguez-Morejón² <https://orcid.org/0000-0003-3424-0574>

¹Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior, Central España Republicana, CP44280, Matanzas, Cuba. ²Centro Universitario Municipal Pelayo Villanueva, Universidad de Matanzas, Ministerio de Educación Superior, Colón, Matanzas, Cuba. Correo electrónico: wendy.ramirez@ihatuey.cu, saray.sanchez@ihatuey.cu

Resumen

Objetivo: Analizar las relaciones entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en un contexto agroecológico.

Materiales y Métodos: Se consultaron y analizaron diferentes fuentes de información (114), referentes a la literatura disponible en los ámbitos de la biología, ciencias agrícolas y agroecología, con el propósito de la profundización en el estado del conocimiento relacionado con la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proporcionan los sistemas agroecológicos.

Resultados: Esta revisión aborda un proceso de actualización constituido por los principales esfuerzos en esta rama del conocimiento y propone una búsqueda sistemática de los temas y enfoques clave que se han desarrollado para comprender los servicios que proporciona la biodiversidad como principio clave de la agroecología. Además, aporta una guía para el desarrollo de investigaciones que permitan una comprensión integral de los servicios ecosistémicos generados por el manejo de la biodiversidad. Los análisis de la relación entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en los agroecosistemas deben formar parte de los estudios integrales en el contexto agroecológico, de manera que desde la ciencia se evidencie qué prácticas son más efectivas para la sostenibilidad de las producciones.

Conclusiones: Los ecosistemas multifuncionales, biodiversos, que implementen prácticas de manejo que optimicen el uso de la tierra y gestionen eficientemente los servicios ecosistémicos, se deben convertir en el paradigma del manejo sostenible de los agroecosistemas. Existe una fuerte interrelación entre el funcionamiento de la biodiversidad y el desarrollo de los procesos ecosistémicos que, posteriormente, serán la base de la producción, fundamentada por la riqueza y variabilidad espacial y temporal de especies, su desempeño en la complejidad de los ecosistemas y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos en diferentes escalas.

Palabras clave: agrobiodiversidad, agroecosistemas, agroecología

Abstract

Objective: To analyze the relationships between biodiversity and ecosystem services in an agroecological context.

Materials and Methods: Different sources of information (114) were consulted and analyzed, referring to the available literature in the fields of biology, agricultural sciences and agroecology, with the purpose of deepening the state of knowledge related to biodiversity and ecosystem services provided by agroecological systems.

Results: This review addresses an updating process constituted by the main efforts in this branch of knowledge and proposes a systematic search of the key topics and approaches that have been developed to understand the services provided by biodiversity as a key principle of agroecology. It also provides a guide for the development of research that allows a comprehensive understanding of the ecosystem services generated by biodiversity management. Analyses of the relationship between biodiversity and ecosystem services in agroecosystems should be part of comprehensive studies in the agroecological context, so that from science it becomes evident which practices are more effective for the sustainability of productions.

Conclusions: Multifunctional, biodiverse ecosystems that implement management practices that optimize land use and efficiently manage ecosystem services should become the paradigm for sustainable agroecosystem management. There is a strong interrelationship between the functioning of biodiversity and the development of ecosystem processes that will subsequently form the basis of production, based on the richness and spatial and temporal variability of species, their performance in the complexity of ecosystems and the maintenance of ecosystem services at different scales.

Keywords: agrobiodiversity, agroecosystems, agroecology

Recibido: 25 de marzo de 2023

Aceptado: 17 de enero de 2024

Como citar este artículo: Ramírez-Suárez, Wendy Mercedes; López-Chouza, Jorge Carlos; Flores-Acosta, María de los Ángeles; Sánchez-Cárdenas, Saray & Rodríguez-Morejón, Pedro Lázaro. La biodiversidad y los servicios ecosistémicos en sistemas agroecológicos. Una revisión. *Pastos y Forrajes*. 47:e02, 2024.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Introducción

La intensificación de las actividades humanas en el mundo ha provocado en los últimos años la pérdida de la capacidad de los ecosistemas para producir bienes y servicios, capaces de satisfacer las necesidades de la población. En este contexto, la agroecología constituye un paradigma que potencia el incremento de la biodiversidad como principio clave para fortalecer los servicios ecosistémicos desde el comienzo de la transición agroecológica en los sistemas de producción.

El informe sobre la evaluación global de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos señala que la naturaleza ha sido afectada severamente, incluyendo las especies, sus genes y poblaciones, comunidades de poblaciones interactuantes, procesos ecológicos y evolutivos (IPBES, 2019), debido a las acciones antropogénicas. Por tanto, se afirma que la Tierra ha entrado en una nueva época geológica, resultado de las transformaciones que han tenido lugar en el planeta, y que responden a un origen humano. Esta nueva época se ha dado en llamar Antropoceno.

Birkhofer *et al.* (2018) plantean que es necesario mejorar la comprensión de las relaciones entre la biodiversidad y la prestación de servicios ecosistémicos para el desarrollo de una agricultura sostenible. Proponen identificar especies indicadoras para la evaluación simultánea de los servicios ecosistémicos. Aunque las funciones de la biodiversidad no están comprendidas de manera integral, es válido resaltar que la funcionalidad de las especies en el contexto agropecuario es más importante que la diversidad en sí. Duncan *et al.* (2015), afirman que son decisivos los estudios que abordan las relaciones entre la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos y que demuestran la función determinante de la biodiversidad en la estabilidad y productividad de los sistemas naturales y explotados; así como su aporte a la resiliencia de estos. Sin embargo, aún son insuficientes estos estudios, debido a la heterogeneidad de los agroecosistemas.

Para gestionar los sistemas productivos, lo ideal es equilibrar la producción de alimentos, los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, por lo que se requiere de un cambio que promueva la multifuncionalidad a escala de paisaje (Holt *et al.*, 2016). La agroecología propone reincorporar agrobiodiversidad (mezclas de variedades, policultivos, agroforestería, integración animal, entre otros) como uno de sus principios fundamentales, junto a prácticas de conservación y cosecha de agua, pero además exige garantizar la restauración de los paisajes, lo

que garantiza rendimientos razonables y mayor resiliencia (Altieri y Nicholls, 2020). Estos sistemas agroecológicos más complejos, que incluyen múltiples componentes tienen más probabilidades de tener resultados positivos en materia de seguridad alimentaria y nutrición (Bezner-Kerr *et al.*, 2021). El objetivo de este trabajo es analizar las relaciones entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en un contexto agroecológico.

Materiales y Métodos

Se realizó una revisión bibliográfica de diferentes fuentes de información (114), referente a la literatura disponible en los ámbitos de la biología, ciencias agrícolas y agroecología, con el propósito de la profundización en el estado del conocimiento relacionado con la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que proporcionan los sistemas agroecológicos. Se realizó la búsqueda de artículos indexados en bases de datos reconocidas como *Science Direct*, *Springer* y *SciELO*, los términos de búsqueda fueron servicios ecosistémicos, biodiversidad, agroecología.

De las publicaciones revisadas, 93 estaban en idioma inglés, 19 en español y 2 en portugués.

A partir del análisis y revisión de la bibliografía, este estudio contribuye a respaldar y orientar las necesidades futuras de investigación con un enfoque holístico, que permita gestionar y entender el funcionamiento de los agroecosistemas en el contexto agroecológico.

La función de la biodiversidad en los agroecosistemas

La definición de biodiversidad es compleja, en tanto que se refiere a la variabilidad de la vida (CBD, 2000). Para ello se considera la composición, estructura y función de los organismos. Al tener en cuenta que la biodiversidad tiene varios componentes, que se expresan a diferentes escalas, su medición se debe tratar de manera jerárquica, por ser intrínsecamente un tema multidimensional, que abarca genes y especies, formas funcionales, adaptaciones, hábitats y ecosistemas, así como también la variabilidad en el interior de ellos y entre ellos (Laurila-Pant *et al.*, 2015). Todas estas dimensiones de la biodiversidad están estrechamente interconectadas, afectan el estado, la estabilidad y la productividad del ecosistema, así como los servicios ecosistémicos (Schneiders y Müller, 2017). Es por ello que el conocimiento de la relación entre los componentes de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos es esencial para entender el funcionamiento de los procesos ecológicos en los agroecosistemas.

De acuerdo con Gliessman (2022), con el incremento de la diversidad existe mayor diferenciación del microhábitat, lo que permite que las especies que lo componen ocupen su hábitat ideal. Además, cuando varias especies con diferentes necesidades toman parte en un sistema de cultivo con diversidad de hábitats, se puede lograr mejor eficiencia de los recursos. La diversidad propicia las oportunidades para la coexistencia y las interacciones beneficiosas. Por ejemplo, los hábitats abiertos en un agroecosistema pueden estar ocupados por muchas especies útiles diferentes en lugar de arvenses. Además, las diferentes poblaciones presentes pueden permitir la superposición de relaciones depredador/presa para promover el control biológico. También la diversidad de la parte subterránea potencia variedad de servicios ecosistémicos, como el ciclo de nutrientes, la regulación de los procesos hidrológicos locales y el secuestro de carbono, que tienen impacto tanto en la finca como fuera de ella.

Existe un amplio consenso en muchos aspectos acerca del efecto de la diversidad sobre las funciones en los ecosistemas. Es decir, que una mayor diversidad incrementa las funciones, debido a que diferentes especies desempeñan funciones diferentes y ocupan distintos nichos. Además, la diversidad y la composición de la comunidad vegetal mantienen una relación directa con las comunidades del suelo, que contribuyen a diversas funciones del ecosistema, por lo que existe una relación positiva entre la biodiversidad vegetal y el funcionamiento del ecosistema. Este conocimiento se puede utilizar para diseñar esquemas de diversificación que maximicen el funcionamiento de los agroecosistemas (Cappelli *et al.*, 2022).

No obstante a lo anterior, no basta con que un agroecosistema sea biodiverso. Su diseño se debe basar en el conocimiento para lograr sistemas agrícolas complejos, localmente adaptados, capaces de proveer alimentos a la población, mientras son más resilientes y constituyen un patrimonio cultural valioso. Es por ello que se necesita de los sistemas tradicionales biológicamente complejos, para lograr una transición hacia formas de agricultura que sean más ecológicas, biodiversas, locales, sostenibles y socialmente justas (Altieri, 2021).

Se ha documentado que, en comparación con los monocultivos convencionales, los sistemas agrícolas diversificados presentan sustancialmente mayor biodiversidad, mejor calidad del suelo, y mayor capacidad de retención de agua, y muestran mayor eficiencia energética y mejor resiliencia ante el cambio climático. Con relación a los monocultivos convencionales, los sistemas agrícolas diversificados presentan una asociación positiva entre la diversificación de cultivos y la productividad agrícola, el ingreso de los agricultores, la seguridad alimentaria y la riqueza nutricional (Nicholls y Altieri, 2019). Además, la diversificación evita la dependencia de un solo producto al ampliar las ofertas, para lo que existen varias estrategias (tabla 1) que contribuyen a la eficiencia del sistema de producción.

Múltiples estudios en el mundo muestran claramente cómo la agricultura ocasiona la simplificación del paisaje y la pérdida de la biodiversidad, lo que conduce al detrimento de las funciones del ecosistema al comprometer su prestación de servicios y, probablemente, la reducción de la capacidad de adaptación de estos sistemas a las perturbaciones. Felipe-Lucia *et al.* (2020) señalan que la intensificación del uso de la tierra puede aumentar la provisión

Tabla 1. Principales estrategias de diversificación de cultivos, agrupadas en cinco categorías.

| Estrategias de diversificación de cultivos | Definición y detalles |
|--|---|
| Agroforestería | La inclusión de vegetación leñosa, como árboles y arbustos, con cultivos o ganado, y ambos, simultánea o secuencialmente en una unidad de tierra. |
| Cultivos de cobertura | La inclusión de plantas cultivadas con fines agronómicos o ambientales, además del cultivo principal en una unidad de tierra. |
| Cultivos mixtos | La inclusión de varios cultivares de la misma especie en una unidad de tierra. |
| Cultivos intercalados | El cultivo simultáneo o en relevo de múltiples cultivos durante una parte importante de su ciclo de crecimiento en una unidad de tierra. |
| Rotación de cultivos | Sucesión recurrente de un conjunto de cultivos seleccionados, cultivados en una misma unidad de tierra cada temporada o cada año, de acuerdo con un plan. |

Fuente: Beillouin *et al.* (2021)

de servicios ecosistémicos, como la producción de alimentos y madera, pero también impulsa cambios en el funcionamiento de los ecosistemas y la pérdida de biodiversidad, lo que en última instancia puede comprometer el bienestar humano.

Es necesario promover prácticas agroecológicas más allá de las fronteras de las fincas, que pueden basarse en un enfoque de abajo hacia arriba, desde fincas faro agroecológicas hasta redes de fincas para amplificar la adopción de la agroecología a escala de paisaje, teniendo en cuenta el contexto, con el propósito de fomentar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos a escalas mayores (Jeanneret *et al.*, 2021).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reconoce que la biodiversidad es uno de los 10 elementos de la agroecología para la evaluación de las transiciones hacia sistemas agroalimentarios más sostenibles, de modo que se garantice la seguridad alimentaria y la nutrición y, al mismo tiempo, conservar, proteger y mejorar los recursos naturales. Mediante la planificación y gestión de la diversidad, los enfoques agroecológicos potencian la prestación de servicios ecosistémicos, en particular la polinización y la salud del suelo, de los que depende la producción agrícola. La diversificación puede aumentar la productividad y la eficiencia en el uso de los recursos, al optimizar la cosecha de biomasa y la captación de aguas (FAO, 2018).

Biodiversidad y servicios ecosistémicos. El concepto de servicios ecosistémicos se conoce a principios de los años 80. Posteriormente, durante los años 90, este concepto se introduce en el debate científico, debido a los múltiples autores que lo aplicaban desde diferentes perspectivas de análisis. Con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) en 2005, el concepto se da a conocer más allá del discurso científico. Recientemente, Wang *et al.* (2022) plantean que los servicios ecosistémicos representan el bienestar que las funciones de los ecosistemas crean para la sociedad humana a través de interacciones biológicas y físicas, lo que se asemeja a los flujos de intercambio entre la naturaleza y la sociedad humana.

Posteriormente, otras iniciativas promueven el enfoque de la relación entre biodiversidad y los servicios ecosistémicos, por ejemplo, la Clasificación Internacional Común de los Servicios de los Ecosistemas (CICES), que propone un marco conceptual para las evaluaciones de los servicios ecosistémicos (Czucz *et al.*, 2018). De este modo, el concepto se

integra en diferentes disciplinas científicas de las ciencias naturales y sociales, agrupa diferentes sectores e interesados para discutir el manejo de los recursos naturales y asume la conservación de la biodiversidad y los intereses comerciales.

El Informe de Economía de Ecosistemas y Biodiversidad (Elmqvist y Maltby, 2010) centra su argumentación en el tema de la valoración de los servicios ecosistémicos y señala la necesidad de tener en cuenta valores ecológicos, sociales y monetarios. Asimismo, con la creación de la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por sus siglas en inglés) se ha logrado articular la información sobre los servicios ecosistémicos para la toma de decisiones ante determinados procesos.

La función principal de la biodiversidad es facilitar el funcionamiento y desarrollo de los procesos ecosistémicos, que posteriormente serán la base de producción de los servicios ecosistémicos (EEM, 2005; Polania *et al.*, 2011). Sin embargo, existen pocos referentes sobre cómo las diferentes decisiones agronómicas impactan en la biodiversidad y, a su vez, en todo el conjunto de servicios ecosistémicos que esta proporciona.

Schneiders y Müller (2017) afirman que la evaluación de los servicios ecosistémicos debe incluir todo el gradiente, desde soluciones naturales hasta soluciones tecnológicas, por lo que es necesario comprender cómo las funciones claves determinan el suministro de los servicios ecosistémicos y cómo dependen de la biodiversidad, así como el efecto de reducir estas funciones mediante variantes tecnológicas, lo que es crucial en la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza.

La clasificación de los servicios ecosistémicos, realizada por la iniciativa que reunió miles de científicos para la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EEM, 2005) se considera un referente en la investigación internacional y en los documentos políticos, en los que se aplica el enfoque de servicios ecosistémicos. Dicha clasificación agrupa los servicios ecosistémicos como se resumen a continuación:

1. Servicios de provisión: son los bienes y productos materiales que se obtienen de los ecosistemas (alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, petróleo, carbón, gas).
2. Servicios de regulación: son los beneficios resultantes de la autoregulación de los procesos ecosistémicos (mantenimiento de la calidad del aire y el suelo, control de la erosión, purificación del agua).

3. Servicios culturales: son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas (enriquecimiento espiritual, belleza escénica, inspiración artística e intelectual, recreación).
4. Servicios de soporte: se definen como los servicios y procesos ecológicos (de base), necesarios para la provisión y existencia de los demás servicios ecosistémicos (ciclo de nutrientes/formación de suelo, fotosíntesis/producción primaria, ciclo del agua).

La EEM (2005) permitió identificar cómo la intervención humana en los ecosistemas puede ampliar beneficios directos e indirectos para la sociedad (aumento de cultivos, por ejemplo) y también generar cambios espaciales y temporales que propicien transformaciones en los ecosistemas, sus procesos y funciones, de modo que afectan al bienestar humano. Los puntos de vista generados en esta iniciativa evidenciaron que existen compensaciones (*trade-off*) entre los servicios de provisión y los servicios de regulación. Usualmente, los primeros se encuentran en mejor estado o se privilegian, en detrimento de los segundos.

Las prácticas agrícolas que apuntan a promover la riqueza de especies de grupos taxonómicos individuales pueden aumentar la multifuncionalidad (Finney y Kaye, 2017), pero se desconocen los efectos positivos de los esquemas agroambientales en las relaciones entre múltiples componentes de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Ekroos *et al.*, 2014).

Los mecanismos que se traducen en mayor productividad en los sistemas diversificados están integrados en el proceso de facilitación. La facilitación es una interacción ecológica, que se produce cuando un cultivo modifica el entorno de una forma que favorece a un segundo cultivo, y constituye una herramienta de restauración de diversidad y funciones ecosistémicas (Navarro-Cano *et al.*, 2019). Es por ello que es clave el conocimiento del productor para diseñar y manejar el sistema, aprovechando las potencialidades de la biodiversidad.

No obstante a lo anterior, existen escasos referentes sobre cuáles son los índices más apropiados para medir la diversidad funcional. En general, los índices utilizados en ecología son de amplia aplicación y se pueden utilizar en los agroecosistemas. Se puede calcular, por ejemplo, la diversidad de cultivos o de hábitats en un paisaje agrícola. Sin embargo, no aportan información sobre sus aspectos funcionales y por lo tanto, no contribuyen a la toma de decisiones sobre el manejo del sistema para

garantizar procesos ecológicos. La valoración de la biodiversidad debe tener en cuenta los impactos que provoca en el desarrollo de los servicios ecosistémicos, ya que se considera un regulador de los procesos que ocurren en los ecosistemas (Quijas *et al.*, 2019).

En Cuba, Vázquez-Moreno (2013) propuso y validó una metodología para el diagnóstico de los diseños y manejos de la biodiversidad en el sistema de producción. La citada metodología considera varias dimensiones: las especies, la complejidad de los arreglos espaciales, estructurales y temporales, así como el enfoque de conservación de los recursos naturales, lo que permite identificar en qué sentido se deben lograr las transformaciones en la finca para fortalecer las interacciones ecológicas y la sinergia entre los componentes biológicos, de modo que se consiga así la integración en su diseño y manejo.

Schneiders y Müller (2017) argumentan que la restauración de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos son dos caras de una misma moneda. Resaltan la función de la biodiversidad, como impulsora de todas las relaciones existentes en los sistemas socioecológicos, y destacan que se basa en esquemas muy complejos de interacciones ecológicas con gran interdependencia mutua.

En un análisis general sobre el tema, Harrison *et al.* (2014) plantean que la relación entre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas puede ser positiva como negativa. Estos autores señalan que como la biodiversidad puede contribuir a múltiples servicios, habrá compensaciones (*trade-off*) o intercambios entre ellos.

La iniciativa Economía de Ecosistemas y Biodiversidad (TEEB, por sus siglas en inglés) elaboró una lista de clasificación de los servicios ecosistémicos (tabla 2).

La biodiversidad puede desempeñar tres funciones diferentes en los servicios de los ecosistemas: como un regulador de los procesos del ecosistema, como un servicio final del ecosistema o como un bien (Mace *et al.*, 2012). Sin embargo, debido a que la descripción de la biodiversidad es complicada, no es sencillo explicar el desempeño de la biodiversidad o los impactos de su declinación en los servicios ecosistémicos en general (Elmqvist y Maltby, 2010). Por todo lo anterior es necesario desarrollar investigaciones más abarcadoras, que tengan en cuenta evaluaciones con criterios multidisciplinarios, de manera que se reconozcan las múltiples dimensiones y utilidades de los servicios

Tabla 2. Lista de servicios ecosistémicos.

| | |
|--------------------------------|---|
| Servicios de aprovisionamiento | Comida |
| | Materias primas |
| | Agua dulce |
| | Recursos medicinales |
| Servicios de regulación | Clima local y calidad del aire |
| | Secuestro y almacenamiento de carbono |
| | Moderación de eventos extremos |
| | Tratamiento de aguas residuales |
| | Prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo |
| Servicios de apoyo | Polinización |
| | Control biológico |
| | Hábitats para especies |
| | Mantenimiento de la diversidad genética |
| Servicios culturales | Recreación y salud mental y física |
| | Turismo |
| | Apreciación estética e inspiración para la cultura, el arte y el diseño |
| | Experiencia espiritual y sentido del lugar |

Fuente: (Elmqvist y Maltby, 2010)

ecosistémicos para generar bienestar humano, según el contexto, la escala y los actores involucrados (Saarikoski *et al.*, 2016). Además, se debe considerar el efecto de las buenas prácticas agrícolas. Es por ello que la evaluación de servicios ecosistémicos constituye un desafío, dada la gran variedad de agroecosistemas y sus complejas interacciones.

La agroecología como potenciadora de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Los agroecosistemas pueden hacer una transición entre estados alternativos, definidos por sus características estructurales y funcionales. Las transiciones agroecológicas son un tipo especial de transiciones mediadas por humanos, donde los diversos componentes del agroecosistema y sus interacciones se reconfiguran a través de un proceso de diseño (Tittonell, 2020).

La agroecología ha sido reconocida como un trampolín para lograr varios objetivos de desarrollo sostenible (ODS), por su gran potencial para construir sistemas agrícolas resilientes al cambio climático, al tiempo que mejora los servicios ecosistémicos y reduce la pérdida de biodiversidad (Sethuraman *et al.*, 2021). En un contexto agroecológico, se promueve la innovación para gestionar los agroecosistemas a partir del mejor aprovechamiento de los recursos, lo que posibilita la evolución de

las fincas con mayor capacidad de regulación del sistema. Sin embargo, no es suficiente con que las fincas sean diversificadas o complejas, y ambas, sino que tienen que ser necesariamente multifuncionales, espacial y temporalmente, de manera que se potencien los servicios ecosistémicos.

Los resultados de un análisis bibliométrico realizado recientemente por Chen *et al.* (2020) indican que los servicios ecosistémicos de los bosques, la agricultura y los humedales son los que más se debaten en la literatura científica. Además, los servicios ecosistémicos de todos los sistemas socioecológicos se han evaluado a varias escalas: nacional, urbana y área protegida. Estos autores resaltan que la biodiversidad ha sido un punto crítico, principalmente porque es un parámetro ecológico efectivo.

La agroecología propone reconstruir o fortalecer la biodiversidad funcional de los agroecosistemas, y ambas, para mejorar las interacciones entre sus componentes, a fin de poder lograr un flujo de bienes y servicios a partir del rediseño de sistemas de producción de alimentos, donde se optimicen los procesos que potencien las funciones ecológicas, cruciales para la producción de cultivos y otros beneficios destinados a la sociedad (Saran-dón, 2020). En un estudio de Boeraeve *et al.* (2020) se evaluaron múltiples servicios ecosistémicos en

fincas agroecológicas y convencionales. Se pudo ver que existieron diferencias significativas entre los tipos de sistemas. Se evidenció que la agroecología tiene un claro impacto en la entrega de los servicios ecosistémicos, que tienden a funcionar mejor al proporcionar mayores servicios de regulación y potenciar las sinergias. En tanto, en los sistemas convencionales, los servicios de aprovisionamiento estuvieron mejor representados.

Generalmente, en fincas hacia la transición agroecológica, los rendimientos disminuyen durante los primeros 3 a 5 años de la conversión, pero los rendimientos de estos sistemas son sólo 19,2 % ($\pm 3,7$ %), inferiores a los rendimientos de los sistemas convencionales (Poncio *et al.*, 2015). Estos investigadores también encontraron que dos prácticas de diversificación agrícola, como los cultivos múltiples y las rotaciones, reducían sustancialmente la brecha de rendimiento (de 9 ± 4 % y 8 ± 5 %, respectivamente). Sin embargo, no todas las prácticas agroecológicas poseen la misma influencia sobre la agrobiodiversidad y los servicios que esta proporciona.

Tamburini *et al.* (2020) al evaluar por metaanálisis el impacto de varias prácticas de diversificación en los sistemas de cultivo, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos; por encima y por debajo del suelo, determinaron que la diversificación mejoró los servicios de regulación, sin comprometer el rendimiento de los cultivos. Las prácticas dirigidas a la biodiversidad aérea impulsaron el control de plagas y la regulación del agua, mientras que aquellas dirigidas a la biodiversidad subterránea mejoraron el ciclo de nutrientes, la fertilidad del suelo y la regulación del agua.

Beillouin *et al.* (2021) destacan que, si bien el aumento de la diversidad de especies o variedades de cultivos en los agroecosistemas representa una estrategia muy prometedora para una gestión más sostenible de la tierra, que contribuye a mejorar los rendimientos, mejorar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, algunas estrategias de diversificación de cultivos son más eficaces que otras para apoyar los servicios del ecosistema. Estos autores demostraron que la diversificación de cultivos mejora no sólo la producción de cultivos (efecto medio + 14 %), también repercute en la biodiversidad asociada (+ 24 %), es decir, la biodiversidad de plantas y animales no cultivados y varios servicios ecosistémicos de apoyo y regulación, incluida la calidad del agua (+ 51 %), el control de plagas y enfermedades (+ 63 %) y la calidad del suelo (+ 11 %). Sin embargo, hubo una variabilidad sustancial en los

resultados para cada servicio ecosistémico individual entre diferentes estrategias de diversificación, como agrosilvicultura, cultivos intercalados, cultivos de cobertura, rotación de cultivos o mezclas de variedades. La agrosilvicultura es particularmente eficaz en la prestación de múltiples servicios ecosistémicos: calidad del agua, regulación de plagas y enfermedades, biodiversidad asociada, productividad y calidad del suelo a largo plazo. Las mezclas de variedades, en cambio, proporcionan menos beneficios, mientras que las otras estrategias muestran resultados intermedios.

Al considerar el conocimiento generado sobre la importancia de la biodiversidad para generar servicios ecosistémicos en el contexto agroecológico, el hombre como actor principal de la transformación de los ecosistemas debe gestionar la agrobiodiversidad, de manera que predominen las sinergias entre los servicios ecosistémicos y se potencien los servicios de regulación. Esto permitirá mayor estabilidad y sostenibilidad de los sistemas de producción encargados de alimentar a la población y, a su vez, brindarle un entorno equilibrado.

Conclusiones

Luego del análisis realizado sobre las relaciones entre biodiversidad, servicios ecosistémicos y agroecología, se cuenta con todos los argumentos para respaldar la idea de que los ecosistemas multifuncionales, biodiversos, que implementen prácticas de manejo que optimicen el uso de la tierra y gestionen eficientemente los servicios ecosistémicos, se deben convertir en el paradigma del manejo sostenible de los agroecosistemas.

Existe una gran interrelación entre el funcionamiento de la biodiversidad y el desarrollo de los procesos ecosistémicos, que serán, posteriormente, la base de la producción, fundamentada por la riqueza y variabilidad espacial y temporal de especies, su función en la complejidad de los ecosistemas y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos en diferentes escalas.

Los análisis de la relación entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en los agroecosistemas deben formar parte de los estudios integrales en el contexto agroecológico, de manera que desde la ciencia se demuestre qué prácticas son más efectivas para la sostenibilidad de las producciones.

Agradecimientos

Se agradece a la Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey por brindar la posibilidad para la búsqueda de la información necesaria para elaborar esta revisión.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos

Contribución de los autores

- Wendy Mercedes Ramírez-Suárez. Generó la idea, buscó información bibliográfica, redactó y revisó el manuscrito.
- Jorge Carlos Lopez-Chouza. Contribuyó con la idea, buscó bibliografía y redactó el manuscrito.
- María de los Ángeles Flores-Acosta. Buscó información, redactó y revisó el manuscrito.
- Pedro Lázaro Rodríguez-Morejón. Buscó información, redactó y revisó el manuscrito.
- Saray Sánchez-Cárdenas. Buscó información, redactó y revisó el manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Altieri, M. A. La agricultura tradicional como legado agroecológico para la humanidad. *Revista PH*. 104:180-197, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33349/2021.104.4960>.
- Altieri, M. A. & Nicholls, Clara I. La Agroecología en tiempos del COVID-19. *CELIA*. 35 (5):1-7. <https://www.alainet.org/es/articulo/205465?language=en>, 2020.
- Beillouin, D.; Ben-Ari, Tamara; Malézieux, E.; Seufert, Verena & Makowski, D. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Glob. Chang. Biol.* 27 (19):4697-4710, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15747>.
- Bezner-Kerr, Rachel; Madsen, Sidney; Stüber, M.; Liebert, J.; Enloe, Stephanie; Borghino, Noélie *et al.* Can agroecology improve food security and nutrition? A review. *Glob. Food Sec.* 29:100540, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100540>.
- Birkhofer, K.; Rusch, A.; Andersson, G. K. S.; Bommarco, R.; Dänhardt, Juliana; Ekbom, Barbara *et al.* A framework to identify indicator species for ecosystem services in agricultural landscapes. *Ecol. Indic.* 91:278-286, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.018>.
- Boeraeve, Fanny; Dendoncker, N.; Cornélis, J.-T.; Degruene, Florine & Dufrêne, M. Contribution of agroecological farming systems to the delivery of ecosystem services. *J. Environ. Manage.* 260:109576, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109576>.
- Cappelli, Seraina L.; Domeignoz-Horta, L. A.; Loaiza, Viviana & Laine, Anna-Liisa. Plant biodiversity promotes sustainable agriculture directly and via belowground effects. *Trends Plant Sci.* 27(7):674-687, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.02.003>.
- CBD. *Sustaining life on Earth. How the Convention on Biological Diversity promotes nature and human well-being*. Montreal, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-sustain-en.pdf>, 2000.
- Chen, Wei; Geng, Y.; Zhong, Shaozhuo; Zhuang, M. & Pan, H. A bibliometric analysis of ecosystem services evaluation from 1997 to 2016. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27:23503–23513, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08760-x>.
- Czúcz, B.; Arany, Ildikó; Potschin-Young, Marion; Bercecki, Krisztina; Kertész, M.; Kiss, M *et al.* Where concepts meet the real world: A systematic review of ecosystem service indicators and their classification using CICES. *Ecosyst. Serv.* 29:145-157, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.11.018>.
- Duncan, Clare; Thompson, J. R. & Nathalie, Pettorelli. The quest for a mechanistic understanding of biodiversity–ecosystem services relationships. *Proc. R. Soc. B.* 282:20151348, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspb.2015.1348>.
- EEM. *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe de Síntesis*. Washington, D.C: Millennium Ecosystem Assessment, 2005. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>, 2005.
- Ekroos, J.; Olsson, O.; Rundlöf, Maj; Wätzold, F. & Smith, H. G. Optimizing agri-environment schemes for biodiversity, ecosystem services or both? *Biol. Conserv.* 172:65-71, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.02.013>.
- Elmqvist, T. & Maltby, E. Biodiversity, ecosystems and ecosystem services. In: P. Kumar, ed. *The economics of ecosystems and biodiversity*. New York: The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. p. 45-111. https://observatoriopantanal.org/wp-content/uploads/crm_perks_uploads/Scb0f734750a11456042675850236/2019/08/2012_The_Economics_of_Ecosystems_and_Biodiversity_Ecological_and_Economic_Foundations.pdf, 2010.
- FAO. *Los 10 elementos de la agroecología guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles*. Roma: FAO. <https://www.fao.org/agroecology/overview/10-elements/es/>, 2018.
- Felipe-Lucia, María R.; Penone, Caterina & Allan, E. Land-use intensity alters networks between biodiversity, ecosystem functions, and services. *PNAS*. 117 (45):28140-28149, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2016210117>.
- Finney, Dennise M. & Kaye, J. P. Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. *J. Applied Ecol.* 54:509-517, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12765>.
- Gliessman, S. Why is ecological diversity important? *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 46 (3):329-330, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2032513>.

- Harrison, P. A.; Berry, P. M.; Simpson, G.; Haslett, J. R.; Blicharska, M.; Bucur, M. *et al.* Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosyst. Serv.* 9:191-203, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.05.006>.
- Holt, Alison R.; Alix, Anne; Thompson, Anne & Maltby, Lorraine. Food production, ecosystem services and biodiversity: We can't have it all everywhere. *Sci. Total Environ.* 573:1422-1429, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.139>.
- IPBES. Assessing a planet in transformation: Rationale and approach of the IPBES Global Assessment on Biodiversity and Ecosystem Services. In: E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz and H. T. Ngo, eds. *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. p. 5-48, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831852>.
- Jeanneret, Ph.; Aviron, S.; Alignier, A.; Lavigne, C.; Helfenstein, J.; Herzog, F. *et al.* Agroecology landscapes. *Landscape Ecol.* 36:2235-2257, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01248-0>.
- Laurila-Pant, Mirka; Lehtikoinen, Annukka; Uusitalo, Laura & Venesjärvi, Riikka. How to value biodiversity in environmental management? *Ecol. Indic.* 55:1-11, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.034>.
- Mace, Georgina M.; Norris, K. & Fitter, A. H. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends Ecol. Evol.* 27 (1):19-26, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>.
- Navarro-Cano, J. A.; Goberna, Marta & Verdú, M. La facilitación entre plantas como herramienta de restauración de diversidad y funciones ecosistémicas. *Ecosistemas.* 28:20-31, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1747>.
- Nicholls, Clara I. & Altieri, M. A. Bases agroecológicas para la adaptación de la agricultura al cambio climático. *Cuad. Inv. UNED.* 11 (1):S55-S61. <https://www.redalyc.org/journal/5156/515661223008/html/>, 2019.
- Polania, Carolina; Pla, Laura & Casanoves, F. Diversidad funcional y servicios ecosistémicos. En: F. Casanoves, L. Pla y J. A. D. Rienzo, eds. *Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos*. Serie Técnica. Informe Técnico No. 384. Turrialba, Costa Rica: CATIE. p. 5-8. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8190/Valoracion_y_analisis_de_la_diversidad_funcional.pdf?sequence=3&isAllowed=y, 2011.
- Posisio, Lauren C.; M'Gonigle, L. K.; Mace, K. C.; Palomino, Jenny; Valpine, P. de & Kremen, Claire. Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc. R. Soc. B.* 282:20141396, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>.
- Quijas, Sandra; Romero-Duque, Luz P.; Trilleras, Jenny M.; Conti, Georgina; Kolb, Melanie; Brignone, Elisa & Dellafiore, Claudia. Linking biodiversity, ecosystem services, and beneficiaries of tropical dry forests of Latin America: Review and new perspectives. *Ecosyst. Serv.* 36:100909, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100909>.
- Saarikoski, Heli; Mustajoki, J.; Barton, D. N.; Geneletti, D.; Langemeyer, J.; Gomez-Baggethun, E. *et al.* Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis: Comparing alternative frameworks for integrated valuation of ecosystem services. *Ecosyst. Serv.* 22:238-249, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.014>.
- Sarandón, S. J., Comp. *Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable*. La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/109141/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 2020.
- Schneiders, Anik & Müller, F. Restoring biodiversity and ecosystem services: two sides of the same coin? A natural base for ecosystem services. In: B. Burkhard and J. Maes, eds. *Mapping ecosystem services*. Sofia: Pensoft Publishers, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3897/ab.e12837>.
- Sethuraman, Gomathy; Zain, Nurul A. M.; Yusoff, Sumiani; Ng, Yin M.; Baisakh, N. & Cheng, Acga. Revamping ecosystem services through Agroecology. The case of cereals *Agriculture.* 11 (3):204, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11030204>.
- Tamburini, G.; Bommarco, R.; Wanger, T. C.; Kremen, Claire; Heijden, M. G. A. van der; Liebman, M. & Hallin, Sara. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *Sci. Adv.* 6 (45):eaba1715, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aba1715>.
- Tittonell, P. Assessing resilience and adaptability in agroecological transitions. *Agric. Syst.* 184:102862, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102862>.
- Vázquez-Moreno, L. L. Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. *Agroecología.* 8 (1):33-42. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182951>, 2013.
- Wang, Lijuan; Zheng, Hua; Chen, Y.; Ouyang, Z. & Hu, X. Systematic review of ecosystem services flow measurement: Main concepts, methods, applications and future directions. *Ecosyst. Serv.* 58:101479, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101479>.