



Review [Revisión]

TENDENCIAS Y TEMÁTICAS EN LA EVALUACIÓN DE LA MULTIFUNCIONALIDAD DE AGROECOSISTEMAS: UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO †

[TRENDS AND THEMES IN AGROECOSYSTEMS MULTIFUNCTIONALITY EVALUATION: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS]

Idalia Zaragoza-Hernández¹, José Luis Romo-Lozano^{2*},
Eduardo Valdés-Velarde³, Daniel Vega-Martínez⁴
and Rufo Sánchez-Hernández⁵

¹Universidad Autónoma Chapingo, Programa de Posgrado en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible. Km 38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo, C.P. 56230, Estado de México, México. Email: zarher.id@gmail.com

²Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Km 38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo, C.P. 56230, Estado de México, México. Email: jlromo@aya.yale.edu

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Km 38.5, Carretera México-Texcoco, Chapingo, C.P. 56230, Estado de México, México. Email: valdevela@gmail.com

⁴Universidad Autónoma Metropolitana. Calz. del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud, Coyoacán, C.P. 04960, Ciudad de México, CDMX. Email: dvega@correo.xoc.uam.mx

⁵Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Avenida Universidad S/N, Zona De La Cultura, Colonia Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Centro, Tabasco, México. Email: rufo.sanchez@ujat.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Agroecosystems provide a wide range of goods and services to society, whose complexity varies depending on the context in which they develop. These characteristics represent a challenge in their evaluation; however, understanding their functioning and identifying areas for improvement is crucial. In this regard, it is essential to consider advances in scientific research on the evaluation of these systems to properly guide future work in this field. **Objectives:** To identify scientific publications, their origins, citation frequency, and recurrent terms in the evaluation of agroecosystem multifunctionality through a review of articles registered in the Scopus and Web of Science databases, and to analyze the main thematic areas by creating bibliometric maps with the VOSviewer software. **Methodology:** A review of scientific articles addressing the evaluation of agroecosystem multifunctionality was performed. The initial search resulted in 302 manuscripts, which were reduced to 65 articles in English and one in Spanish after a screening process. This set of publications was systematized and analyzed using Excel and the Bibliometrix application to address the first objective. Additionally, the bibliometric technique of term co-occurrence was applied using VOSviewer to delineate thematic groups, whose characteristics were reviewed using Excel. **Main Findings:** The results reveal a significant increase in the publication of articles related to the topic of interest in the past seven years, with 73% of the articles published during this period. At the country level, China, Spain, France, the Netherlands, Germany, Belgium, India, and Portugal account for 64% of the study sites, with a clear predominance of work in China. The three main thematic groups in the research are: 1) Multidimensional evaluation of agroecosystems; 2) Evaluation of agroecosystems multifunctionality based on their biodiversity; 3) Evaluation of soil multifunctionality in agroecosystems. **Implications:** The accumulated experiences in this field offer diverse perspectives that should be considered when applying any methodology. A trend observed is the increasingly comprehensive nature of studies,

† Submitted March 15, 2024 – Accepted October 18, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5507>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = I. Zaragoza-Hernández: <http://orcid.org/0000-0003-2575-3714>; J.L. Romo-Lozano: <http://orcid.org/0000-0002-1256-591X>; E. Valdés-Velarde: <http://orcid.org/0000-0002-6226-7443>; D. Vega-Martínez: <http://orcid.org/0000-0002-1713-0296>; R. Sánchez-Hernández: <http://orcid.org/0000-0002-4385-4837>

which incorporate indicators from various dimensions and emphasize the importance of addressing agroecosystem multifunctionality holistically. **Conclusion:** The number of studies on this topic is increasing, with different approaches and multidisciplinary work, recognizing the complexity and importance of agroecosystems in the global sustainability agenda.

Key words: multifunctional agriculture; ecosystem services; evaluation methodologies; literature review.

RESUMEN

Antecedentes. Los agroecosistemas ofrecen una amplia gama de bienes y servicios a la sociedad, cuya complejidad varía según el contexto en el que se desarrollen. Tales características representan un desafío en su evaluación; sin embargo, comprender su funcionamiento y detectar áreas de mejora es fundamental. En este sentido, es de suma importancia considerar los avances en la investigación científica sobre la evaluación de estos sistemas para orientar adecuadamente los trabajos futuros en este campo. **Objetivos.** Identificar las publicaciones científicas, su procedencia, frecuencia de citación y términos recurrentes en la evaluación de la multifuncionalidad de los agroecosistemas, mediante la revisión de los artículos registrados en las bases de datos Scopus y Web of Science, y analizar las principales áreas temáticas, a través de la elaboración de mapas bibliométricos con el software VOSviewer.

Metodología. Se realizó una revisión de los artículos científicos que abordan la evaluación de la multifuncionalidad de agroecosistemas. La búsqueda inicial dio como resultado 302 manuscritos que después de un proceso de depuración se redujeron a 65 artículos en inglés y uno en español. Este conjunto de publicaciones se sistematizó y analizó en Excel y la aplicación Bibliometrix, para responder al primer objetivo. Asimismo, se le aplicó la técnica bibliométrica de coocurrencia de términos mediante VOSviewer para delimitar grupos temáticos, cuyas características fueron revisadas utilizando Excel. **Principales hallazgos.** Los resultados revelan un aumento significativo en la publicación de artículos relacionados en el tema de interés en los últimos siete años, con el 73% de los artículos en ese periodo. A nivel de países, China, España, Francia, Países Bajos, Alemania, Bélgica, India y Portugal concentran el 64% de los sitios de estudio, con una clara predominancia de trabajos en China. Los tres grupos temáticos principales en la investigación son: 1) Evaluación multidimensional de agroecosistemas; 2) Evaluación de la multifuncionalidad de los agroecosistemas según su biodiversidad; 3) Evaluación de la multifuncionalidad del suelo en agroecosistemas.

Implicaciones. Las experiencias acumuladas en la temática ofrecen diversas perspectivas que deben ser consideradas al aplicar cualquier metodología en este campo. Una tendencia observada es la realización de estudios cada vez más integrales, que incorporan indicadores de diversas dimensiones, lo que subraya la importancia de abordar la multifuncionalidad de los agroecosistemas de manera holística. **Conclusión.** El número de investigaciones sobre el tema es creciente, con diferentes enfoques y son trabajos multidisciplinarios, en los que se reconoce la complejidad y la importancia de los agroecosistemas en la agenda global de sostenibilidad.

Palabras clave: agricultura multifuncional; servicios ecosistémicos; metodologías de evaluación; revisión de literatura.

INTRODUCCIÓN

Los agroecosistemas son sistemas complejos que involucran una variedad de componentes bióticos y abióticos cuyo manejo influye en la producción de alimentos, la salud del medio ambiente y de la sociedad en general (Garland *et al.*, 2021; Richter *et al.*, 2021; Leroux *et al.*, 2022). Las diversas funciones, servicios y beneficios que ofrecen contribuyen a la capacidad de las comunidades para resolver los desafíos ante crisis económicas, climáticas o de salud (Hodbod *et al.*, 2016; Biswas *et al.*, 2022). El conjunto de propiedades que poseen resalta su multifuncionalidad (MF), misma que puede cambiar a través del tiempo y según el contexto en el que se encuentre (Torralba *et al.*, 2018; Lin and Yun, 2023).

La MF en la agricultura y gestión de la tierra es un enfoque integral que reconoce la contribución de los sistemas agrícolas a diversos objetivos como la prosperidad económica, el bienestar social y la salud de los ecosistemas (Fagioli *et al.*, 2017; Zinchuk *et al.*, 2021; Rac, Erjavec and Erjavec, 2023). Esta

perspectiva es esencial para enfrentar los desafíos globales presentes y futuros relacionados con la agricultura y la alimentación (Valujeva *et al.*, 2016; Tran *et al.*, 2022; Tanács *et al.*, 2023). En ese sentido, organismos internacionales destacan la necesidad de procurar sistemas agroalimentarios resilientes, inclusivos y sostenibles, enfocados en proveer alimentos suficientes, seguros y nutritivos de manera accesible para todos (FAO, 2022).

Una forma de comprender el funcionamiento y localizar áreas de mejora en los agroecosistemas es mediante su evaluación. Esta tarea consiste en analizar y valorar una variedad de aspectos del sistema, así como sus repercusiones sociales, económicas y ambientales, desde la perspectiva de la MF. Por lo tanto, evaluar la MF es crucial para promover una gestión agrícola informada y sostenible que puede permitir identificar y apreciar todas las funciones que los agroecosistemas brindan a la sociedad, el medio ambiente y la economía, facilitando así la adopción de decisiones equilibradas y sostenibles en el sector agrícola.

La complejidad de la evaluación de la MF de los agroecosistemas también es evidente en los diferentes enfoques, escalas de valoración, profundidad en el análisis, metodologías e indicadores utilizados (Lovell *et al.*, 2010; Mastrangelo *et al.*, 2014; van der Plas *et al.*, 2019; Vazquez *et al.*, 2021). Esta diversidad debe tenerse en cuenta para centrar los futuros esfuerzos de investigación en áreas que maximicen los recursos disponibles y mejoren el flujo de resultados en torno al tema.

En este contexto, la revisión bibliométrica es una herramienta esencial para valorar, medir y apoyar en la comprensión de la investigación científica en el tema de interés. Esta metodología es reconocida por su capacidad para asistir a la comunidad científica en la toma de decisiones informadas, identificar tendencias y colaboraciones, además de medir el impacto y la visibilidad de los estudios realizados. Por lo tanto, se convierte en un recurso indispensable para guiar y enriquecer la investigación en el campo científico (Peralta González, Frías Guzmán and Gregorio Chaviano, 2015).

Los argumentos antes mencionados dieron origen a esta revisión bibliométrica bajo el planteamiento de los siguientes objetivos: 1) Identificar las publicaciones científicas, su procedencia, frecuencia de citación y términos recurrentes en la evaluación de la MF de los agroecosistemas, mediante la revisión de los artículos registrados en las bases de datos Scopus y Web of Science, y 2) Analizar las principales áreas temáticas en la evaluación de la MF de los agroecosistemas a través de la elaboración de mapas bibliométricos con el software VOSviewer, según los registros de las bases de datos Scopus y Web of Science.

METODOLOGÍA

Este estudio es un análisis bibliométrico que utilizó las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS), consideradas como las más extensas por la cobertura que ofrecen (Pranckutė, 2021). La búsqueda inicial incluyó todos los años de publicaciones sobre el tema de interés. A partir de los filtros que permiten aplicar ambas plataformas se acotó a investigaciones de las áreas de agronomía y ciencias ambientales. Las palabras clave de búsqueda que ofrecieron la mayor cantidad de artículos sobre el tema fueron: “multifunctionality”, “agriculture”, “ecosystem services”, “evaluation”, “assessment”, “analysis”, “measurement”, “indice”, “variable”, “indicator” y “criteria”. Los resultados de la búsqueda en ambos repositorios reunieron 302 artículos en total. Estos fueron publicados desde 1999 hasta 2003, en alguno de los idiomas siguientes: inglés, chino mandarín, alemán, español o italiano. Estos manuscritos pasaron

por una serie de depuraciones que se explican con mayor detalle en la Tabla 1.

Tabla 1. Proceso depuración en la búsqueda de artículos sobre el tema de investigación.

Paso	Descripción	No. Artículos
1	Artículos encontrados en las bases de datos utilizando las palabras de búsqueda (201 en Scopus y 101 en WoS).	302
2	Eliminar los registros duplicados después de unir ambas bases de datos.	255
3	Selección de los artículos estrechamente relacionados con el tema de investigación, mediante la lectura de los resúmenes.	119
4	Selección de los artículos estrechamente vinculados al tema de la evaluación de la multifuncionalidad a partir de la lectura de cada artículo en sus diferentes apartados.	66

Nota: el periodo de publicación de los 66 manuscritos seleccionados es de 2008 al 2023; son 65 artículos en inglés y uno en español.

La base de datos resultante, que contenía 66 artículos seleccionados tras el proceso de depuración, se complementó con información adicional sobre el origen de las evaluaciones de MF reportadas en cada manuscrito. Esta base de datos final fue analizada utilizando Excel y el paquete Bibliometrix para abordar el primer objetivo de este estudio.

El segundo objetivo se trató en dos etapas. En la primera etapa, se empleó el software VOSviewer, especializado en la representación gráfica de mapas bibliométricos y conocido por su enfoque en la visualización (van Eck and Waltman, 2010), para analizar los resúmenes de la base de datos depurada. La técnica aplicada fue la biometría de coocurrencia para analizar la coincidencia y la fuerza de asociación entre términos, facilitando así la construcción de grupos temáticos. El umbral mínimo aplicado fue de 10 coocurrencias, lo que permitió identificar inicialmente 44 términos relevantes. Para asegurar la calidad y pertinencia del análisis, se realizó una selección adicional de términos basada en su frecuencia y relevancia en el contexto del estudio. De esta manera, se incluyeron solo aquellos términos que aparecieron de manera consistente y significativa en los artículos revisados. Este enfoque, similar al utilizado en estudios previos (Boyack and Klavans,

2010; Waltman and van Eck, 2012; Perianes-Rodriguez, Waltman and van Eck, 2016), resultó en la inclusión del 60% de los términos más significativos, reduciendo la lista a 26 términos. El término "paper" fue eliminado por considerarse no esencial para definir las áreas temáticas, dejando 25 términos para el análisis en VOSviewer. Esta metodología permitió focalizar el análisis en los términos más representativos y evitar la inclusión de aquellos con menor impacto en la temática investigada, asegurando así la robustez y relevancia del análisis final.

En la segunda etapa para la atención del objetivo dos, se complementó la base de datos con información sobre las metodologías empleadas en las investigaciones revisadas. Posteriormente, las metodologías utilizadas se categorizaron en los tipos mencionados para cada grupo temático, en el apartado siguiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran aumento significativo en la publicación de artículos sobre el tema en los últimos siete años (Figura 1), periodo en el que se encontró 73% del total de publicaciones en este campo.

El artículo más citado corresponde al 2008 y sigue siendo el más referenciado hasta la fecha. En la Tabla 2 destacan los 10 artículos más citados, que acumulan el 77% de las citas durante el periodo analizado. Estos trabajos se orientan principalmente en investigaciones multidimensionales. Otra característica de estos artículos es que fueron publicados en revistas enfocadas en ecología.

El análisis sobre la procedencia geográfica mostró que Europa lidera como región pionera, aportando el 64%

de las investigaciones. Este hallazgo respalda la tendencia identificada por Hölting *et al.* (2019) sobre el predominio europeo en esta área de estudio. También se destaca que Asia ocupa el segundo lugar con un 23%. En cuanto a la distribución por países, China, España, Francia, Países Bajos, Alemania, Bélgica, India y Portugal representan en conjunto el 64% de los lugares de estudio. China contribuye con el 21% de los estudios sobre la MF de agroecosistemas. Esta preminencia se ilustra en la Figura 2 y en el mapa bibliométrico (Figura 3), donde el término "China" figura entre los más destacados. Estas cifras implican que la mayoría de los países del mundo no presentan registro de algún estudio sobre el tema para esta revisión.

Moon (2015) sugiere que las diferencias en las contribuciones de investigación entre países pueden deberse al estado de desarrollo económico y la competitividad agrícola de cada nación, lo que influye en la demanda social de distintos aspectos de la agricultura multifuncional. También menciona que la mayoría de los debates académicos han estado enfocados en la agricultura europea, particularmente desde la Ley de Acuerdos de la Ronda de Uruguay, lo que limita la inclusión de perspectivas internacionales.

Con respecto al argumento de que la predominancia del inglés en los artículos indexados en las bases de datos utilizadas puede afectar la representatividad y diversidad de países con idiomas predominantes diferentes, como lo señala (Salatino, 2022), especialmente en la producción científica latinoamericana. Es relevante destacar que las publicaciones sobre el tema en español en estas bases de datos son escasas, a pesar de que la búsqueda incluyó combinaciones de palabras clave en dicho idioma.

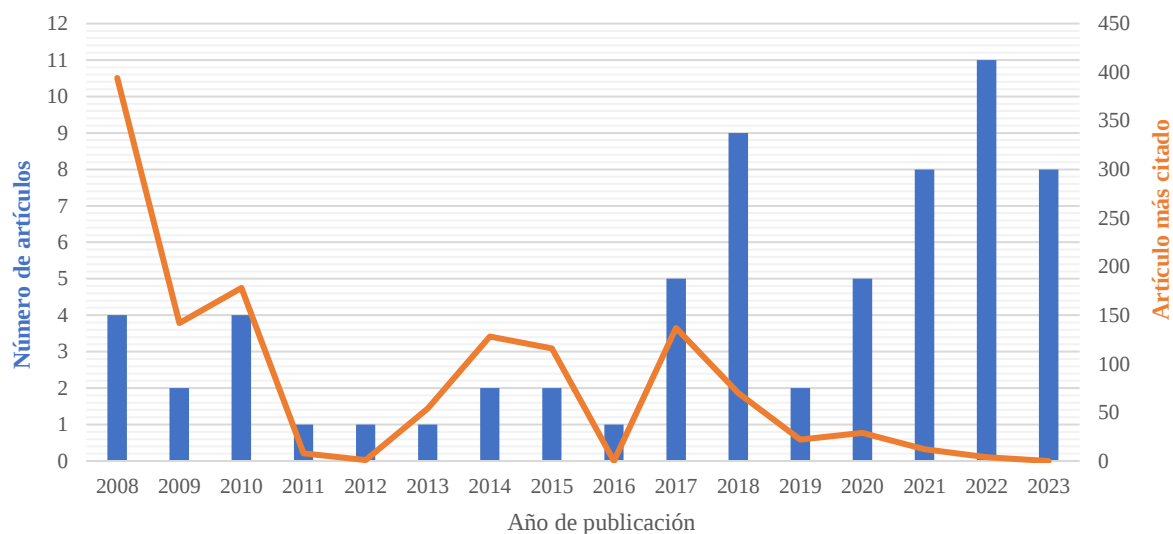


Figura 1. Evolución de las publicaciones y las citaciones en el periodo 2008-2023.

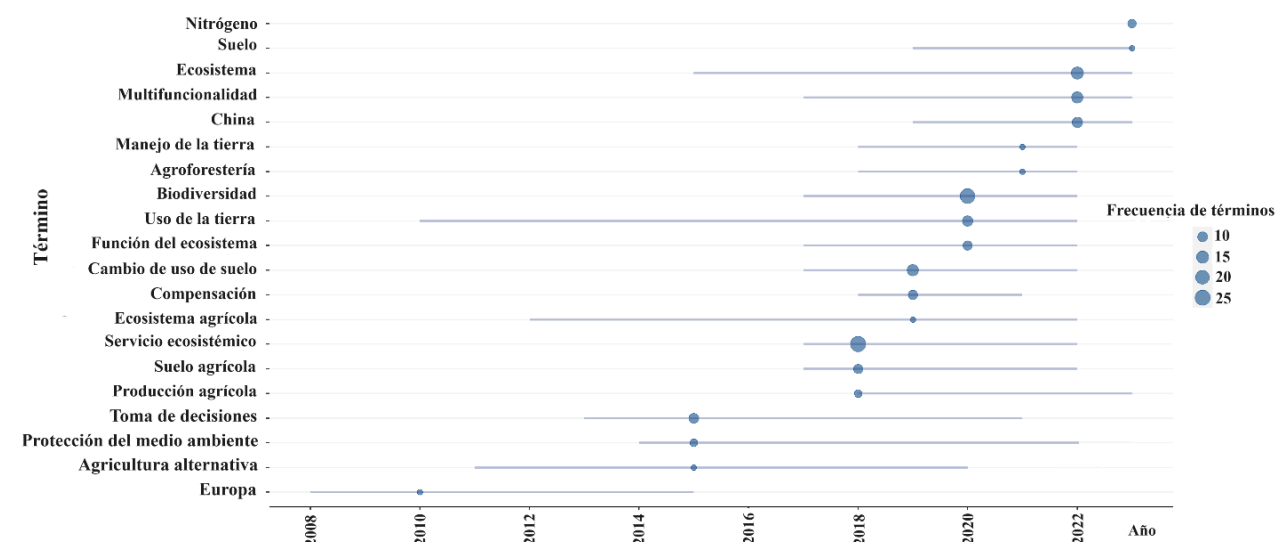
Tabla 2. Las 10 publicaciones más citadas.

Citas	Referencia	Título del artículo	Revista
394	Gamfeldt <i>et al.</i> , 2008	Multiple functions increase the importance of biodiversity for overall ecosystem functioning	Ecology
195	Willemsen <i>et al.</i> , 2008	Spatial characterization of landscape functions	Landscape and Urban Planning
178	Willemsen <i>et al.</i> , 2010	Space for people, plants, and livestock? Quantifying interactions among multiple landscape functions in a Dutch rural region	Ecological Indicators
142	Crossman and Bryan, 2009	Identifying cost-effective hotspots for restoring natural capital and enhancing landscape multifunctionality	Ecological Economics
137	Finney and Kaye, 2017	Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system	Journal of Applied Ecology
128	Mastrangelo <i>et al.</i> , 2014	Concepts and methods for landscape multifunctionality and a unifying framework based on ecosystem services	Landscape Ecology
116	Rodríguez-Loinaz <i>et al.</i> , 2015	Multiple ecosystem services landscape index: A tool for multifunctional landscapes conservation	Journal of Environmental Management
93	Stürck and Verburg, 2017	Multifunctionality at what scale? A landscape multifunctionality assessment for the European Union under conditions of land use change	Landscape Ecology
86	Fleskens <i>et al.</i> , 2009	A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: A case study of Trás-os-Montes olive groves	Journal of Rural Studies
84	Parra-López <i>et al.</i> , 2008	A systemic comparative assessment of the multifunctional performance of alternative olive systems in Spain within an AHP-extended framework	Ecological Economics

En cuanto a la tendencia de los términos utilizados, existe una notoria diversificación de palabras asociadas a la evaluación de la MF a partir de 2017. Términos como "servicio ecosistémico" y "biodiversidad" figuran entre los más empleados (Figura 2). Por ejemplo, autores como Vazquez *et al.* (2021) han analizado cómo la biodiversidad contribuye a aspectos como la provisión de hábitat, la productividad primaria y el ciclo de nutrientes.

Análisis para cada clúster

Mediante el programa VOSviewer se identificaron 25 términos y tres grupos temáticos con base en el resumen de los 66 artículos (Figura 3). El primer grupo, con un 38% de los términos, se denominó "Evaluación multidimensional de agroecosistemas", que se refiere a las investigaciones realizadas en áreas geográficas espacialmente heterogéneas, caracterizadas por diversos tipos de vegetación o ecosistemas, múltiples

**Figura 2.** Tendencia de los términos utilizados en la evaluación de la MF de agroecosistemas.

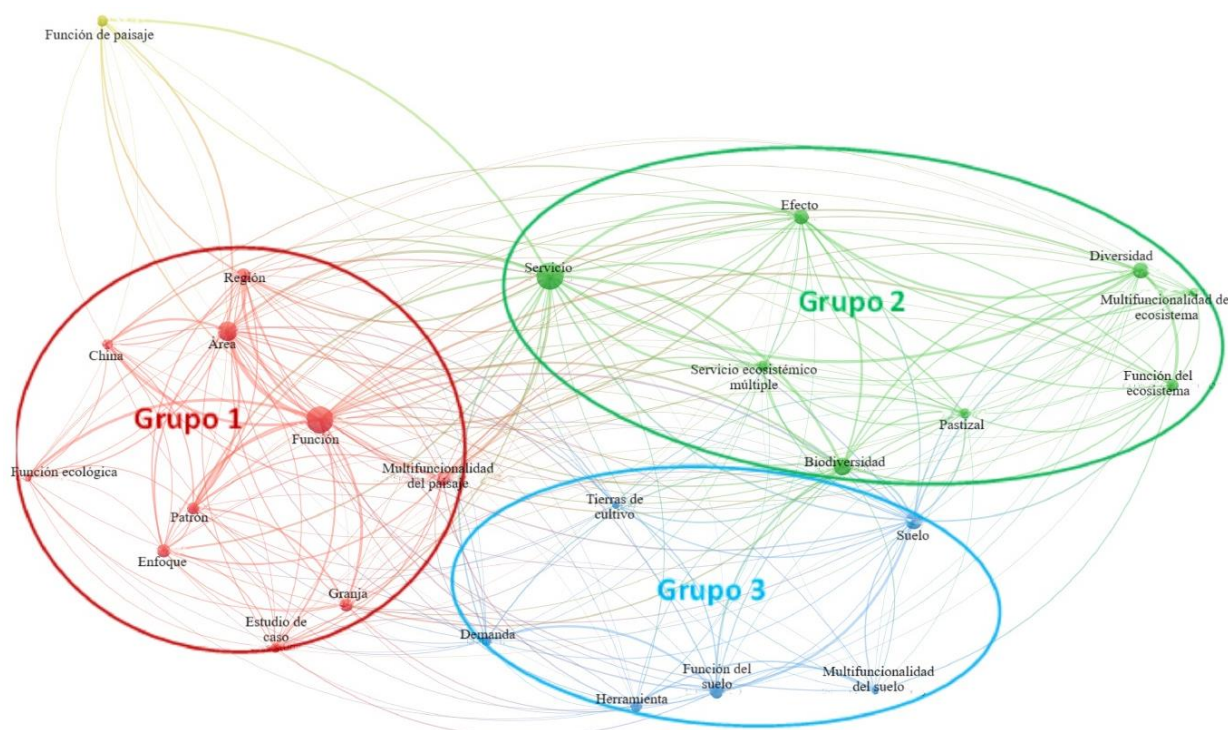


Figura 3. Mapa bibliométrico sobre evaluación de la MF de agroecosistemas.

unidades de producción, hasta estudios a nivel de país. El segundo grupo, con un porcentaje igual de términos, se nombró “Evaluación de la multifuncionalidad de los agroecosistemas según su biodiversidad”. El tercer grupo, que comprende el 19% de los términos se centró en la “Evaluación de la multifuncionalidad del suelo en agroecosistemas”. Un término particularmente prominente fue "función de paisaje o función paisajística", que mostró conexiones con todos los grupos y sugiere la posibilidad de conformar un cuarto grupo para futuras investigaciones, según lo indican los resúmenes analizados.

Grupo 1. Evaluación multidimensional de agroecosistemas

Las investigaciones recientes que corresponden a esta clasificación destacan que los paisajes agrícolas ofrecen servicios esenciales más allá de su función productiva, incluyendo beneficios ecológicos, económicos, sociales y culturales (Balzan, Caruana and Zammit, 2018; Ren, 2021; Zinchuk *et al.*, 2021). Para evaluar la MF de los agroecosistemas, se han utilizado diversas metodologías. Aproximadamente el 60% de los estudios emplean análisis espacial y modelado, mientras que alrededor del 30% se basan en la recolección de datos primarios a través de encuestas y entrevistas. También, se destacan evaluaciones directas de los componentes de los agroecosistemas y la combinación de múltiples técnicas en un mismo estudio debido a la complejidad del tema (Pinto-

Correia *et al.*, 2018; Stokes *et al.*, 2023). Un 10% de las investigaciones se basa exclusivamente en datos secundarios.

El 20% de los estudios utiliza análisis multicriterio para la toma de decisiones, especialmente el Proceso Jerárquico Analítico (AHP), para evaluar la MF en sistemas agrícolas variados (Parra-López, Calatrava-Requena and De-Haro-Giménez, 2008; Arriaza and Gómez-Limón, 2011; Marques-Perez and Segura, 2018; Rodríguez Sousa *et al.*, 2020; Tran *et al.*, 2022).

Los trabajos resaltan la necesidad de comprender cómo las diversas funciones de los agroecosistemas interactúan (Willemen *et al.*, 2010; Marsboom *et al.*, 2018) y cómo pueden ser fomentadas, considerando el efecto de las externalidades y seleccionando de manera cuidadosa los indicadores y escalas de análisis al diseñar políticas relacionadas con los agroecosistemas (Stürck and Verburg, 2017; Torralba *et al.*, 2018; Jiang *et al.*, 2020; Rodríguez Sousa *et al.*, 2020). Asimismo, se enfatiza la importancia de incluir a múltiples partes interesadas en la toma de decisiones, considerando los desafíos de la MF agrícola. Entre los principales retos identificados en esta revisión se encuentran el equilibrio entre biodiversidad y rendimiento, la diversidad en la valoración de servicios ecosistémicos, la falta de una definición y métodos de evaluación consistentes que dificulta la comparación entre estudios y la toma de decisiones informadas, la complejidad en la interacción de funciones del paisaje

y la falta de integración de los efectos del cambio climático en la planificación del uso del suelo (Willemen et al., 2010; Mastrangelo et al., 2014; Hölting et al., 2020; Ren, 2021; Daelemans et al., 2023). Sin duda, un enfoque integrador es clave para el desarrollo de estrategias sostenibles que consideren los aspectos socioeconómicos y ecológicos de los agroecosistemas.

Grupo 2. Evaluación de la multifuncionalidad de los agroecosistemas según su biodiversidad

En el ámbito de la ecología contemporánea, se ha intensificado el interés por comprender cómo la biodiversidad afecta la MF en diferentes agroecosistemas. La importancia crítica de la biodiversidad microbiana del suelo para la productividad agrícola y la eficiencia de los agroecosistemas se ha destacado, especialmente en el contexto de la intensificación agrícola y el uso de fertilizantes químicos (Romero et al., 2023).

Además, los ecosistemas costeros tropicales han sido objeto de estudio, mostrando la sinergia entre vegetación, suelo y diversidad microbiana para mantener servicios ecosistémicos, especialmente en bosques y manglares (Velmurugan et al., 2022). Por otro lado, en los pastizales, se ha investigado cómo la beta-diversidad de plantas y microorganismos del suelo afecta a las funciones ecosistémicas, revelando un mayor impacto de la diversidad de plantas en la variabilidad de la función del ecosistema en comparación con la diversidad microbiana del suelo (Jing et al., 2021).

Desde una perspectiva agronómica, se ha examinado cómo los policultivos en sistemas agrícolas con variedad de nichos pueden ser más importantes para el funcionamiento del ecosistema que la simple riqueza de especies, sugiriendo que el diseño de policultivos para maximizar la diversidad funcional podría llevar a agroecosistemas más eficientes (Finney and Kaye, 2017). Las investigaciones también se han enfocado en las consecuencias de la pérdida de biodiversidad, destacando el papel crítico de las especies arbóreas en los servicios ecosistémicos y la necesidad de proteger su diversidad para asegurar un suministro sostenible de estos servicios (Tekalign et al., 2017).

Finalmente, se ha ofrecido una visión general sobre la importancia de la biodiversidad para el funcionamiento global del ecosistema. Esta visión sugiere que la complementariedad entre especies es crucial para la resiliencia y estabilidad de los ecosistemas, y que el funcionamiento general es más susceptible a la pérdida de especies que las funciones individuales, resaltando la relevancia de la biodiversidad a nivel microbiano y de especies en la promoción de la MF del

agroecosistema (Gamfeldt, Hillebrand and Jonsson, 2008; Romero et al., 2023).

Grupo 3. Evaluación de la multifuncionalidad del suelo en agroecosistemas

Entre las investigaciones catalogadas en este tercer grupo, destacan los resultados que se detallan a continuación, los cuales subrayan la estrecha relación entre la vitalidad de los agroecosistemas y su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos, con prácticas de manejo del suelo que a su vez afectan la biodiversidad. Según Li et al. (2023), el uso de estiércol en zonas subtropicales mejora la salud del suelo y eleva la funcionalidad microbiana, impulsando la biomasa microbiana, la disponibilidad de nutrientes y la actividad enzimática. Este hallazgo se complementa con la investigación de Nazaries et al. (2021), quienes señalan que tanto la estructura de la comunidad microbiana como los factores abióticos son fundamentales para regular las funciones del suelo, destacando la importancia de la biodiversidad microbiana para potenciar la MF del suelo.

En un contexto más amplio, Zhao et al. (2021) enfatizan la importancia estratégica del suelo para la seguridad alimentaria y advierten sobre los riesgos de su sobreexplotación. Los autores subrayan la necesidad de un manejo equilibrado del suelo para lograr la seguridad alimentaria sin comprometer otras funciones esenciales. En esta línea, Taniguchi et al. (2022) exploran cómo la biodiversidad del suelo y prácticas de manejo sostenible están interconectadas, incidiendo directamente en la salud y sostenibilidad de los agroecosistemas. Además, el estudio de Yang et al. (2023) mostró que los fertilizantes de nitrógeno de alta eficiencia (EENF) mejoran la fertilidad del suelo en regiones semiáridas, ayudando a mitigar las limitaciones de nutrientes y a conservar la calidad del suelo. Sus resultados apoyan la teoría de que las actividades enzimáticas y el metabolismo microbiano dependen más de los nutrientes del suelo que de las comunidades microbianas, y que la aplicación de fertilizantes nitrogenados (N200 y EENF) podrían influir en la transformación de C, N y P en el suelo.

La evaluación integral de la calidad del suelo se ha convertido en un aspecto central, con herramientas como los índices multivariados, que permiten comprender y monitorear las interacciones complejas en el suelo. Angelini, Heuvelink and Lagacherie (2023) ejemplifican esto con un estudio en el sur de Francia, donde se utilizó un índice de MF potencial del suelo para diferentes usos agrícolas. Además, Zwetsloot et al. (2022) resaltan la importancia de BIOSIS, una plataforma para seleccionar métodos biológicos del suelo, facilitando el seguimiento de su funcionalidad en la agricultura.

En adición, se ha observado que los indicadores superficiales del suelo mantienen una correlación significativa con la MF del suelo en áreas secas a nivel global, ofreciendo métodos simples y efectivos para monitorear la MF del suelo en tiempo real, especialmente en condiciones de cambio en el uso de la tierra y factores ambientales (Eldridge *et al.*, 2020). Por último, la conexión identificada entre los servicios del ecosistema en tierras de cultivo y la composición taxonómica y funcional del microbioma del suelo subraya la relevancia de la fertilización orgánica para mejorar diversos servicios del ecosistema en entornos agrícolas (Chen *et al.*, 2019).

En resumen, la investigación en la evaluación de la MF de agroecosistemas se está consolidando como un ámbito de interés global, diverso y multidisciplinario. Los enfoques metodológicos están evolucionando hacia técnicas más integradoras y holísticas, lo que refleja una creciente comprensión de la complejidad y la relevancia de estos sistemas para el desarrollo sostenible. Este campo emergente promete desempeñar un papel significativo en la configuración de políticas y prácticas agrícolas sostenibles y resilientes, adaptadas a los retos del Antropoceno.

CONCLUSIONES

La investigación en el campo de la evaluación de la MF en agroecosistemas ha mostrado un crecimiento y una evolución significativos, especialmente en los últimos siete años. Este crecimiento se refleja en el volumen de estudios y publicaciones, así como en la expansión geográfica de la investigación, particularmente en Europa y Asia, con un enfoque destacado en China. La revisión bibliométrica permitió identificar una diversificación en los enfoques metodológicos y en la procedencia de los autores, lo que sugiere un interés creciente por una comprensión más integral de la MF en los agroecosistemas. Esta evolución se manifiesta en la variabilidad de términos recurrentes y en el uso de diferentes escalas de análisis, con mayor interés por abarcar el contexto ecológico y enseguida el socioeconómico en la evaluación de la MF, según el mapa bibliométrico, la temática de las revistas de las publicaciones y la frecuencia de términos, resultantes de esta revisión.

En cuanto a las áreas temáticas de investigación, destacan tres enfoques principales: la evaluación multidimensional de agroecosistemas, la evaluación basada en la biodiversidad y la evaluación enfocada en la MF del suelo. El primer enfoque requiere de bases de datos amplias y técnicas sofisticadas, dada la amplitud de las áreas de estudio, que a menudo incluyen regiones enteras o países. Estas metodologías han evolucionado para incorporar análisis espacial, modelado y análisis multicriterio, reflejando una preferencia por enfoques integrales que consideran

múltiples variables y dimensiones de la MF. Las otras dos áreas, aunque más focalizadas, son igualmente críticas, ya que implican la recopilación de datos de campo detallados y la observación cercana de los agroecosistemas y sus alrededores.

Acknowledgements

This scientific contribution is part of the doctoral research work of the first author, who is a recipient of a scholarship of the National Council of Humanities, Sciences, and Technologies (CONAHCYT).

Funding. This manuscript is a product of the Technology Development and Transfer project with code 23024-DTT-85, titled “Restoration of hillside soils and improvement of agricultural plots through the establishment of MIAF in northeastern Puebla”, from the Universidad Autónoma Chapingo.

Conflict of Interest. The authors declare that there are no conflicts of interest regarding this manuscript.

Compliance with ethical standards. Due to the nature of the study this does not apply.

Data availability. If further data from the references used for the bibliometric analysis are needed, they can be requested from the first author at the email address zarher.id@gmail.com.

Author contribution statement (CRediT). I.

Zaragoza-Hernández: conceptualization, data curation, methodology, validation, visualization, formal analysis, investigation, and writing - original draft; **J.L. Romo-Lozano:** conceptualization, methodology, writing - review and editing and resources; **E. Valdés-Velarde:** writing - review and editing and funding acquisition; **D. Vega-Martínez:** conceptualization, methodology, visualization, writing - review and editing; **R. Sánchez-Hernández:** writing - review and editing.

REFERENCES

- Angelini, M.E., Heuvelink, G.B.M. and Lagacherie, P., 2023. A multivariate approach for mapping a soil quality index and its uncertainty in southern France. *European Journal of Soil Science*, 74, p.e13345. <https://doi.org/10.1111/ejss.13345>
- Arriaza, M. and Gómez-Limón, J.A., 2011. Valoración social del carácter multifuncional de la agricultura andaluza. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 107(2), pp.102–125.
- Balzan, M. V., Caruana, J. and Zammit, A., 2018. Assessing the capacity and flow of ecosystem services in multifunctional landscapes:

- Evidence of a rural-urban gradient in a Mediterranean small island state. *Land Use Policy*, [online] 75, pp.711–725. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.025>
- Biswas, B., Chakraborty, D., Timsina, J., Bhowmick, U.R., Dhara, P.K., Ghosh (Lkn), D.K., Sarkar, A., Mondal, M., Adhikary, S., Kanthal, S., Patra, K., Sarkar, S., Parsad, R. and Ray, B.R., 2022. Agroforestry offers multiple ecosystem services in degraded lateritic soils. *Journal of Cleaner Production*, [online] 365, p.132768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132768>
- Boyack, K.W. and Klavans, R., 2010. Co-Citation Analysis, Bibliographic Coupling, and Direct Citation: Which Citation Approach Represents the Research Front Most Accurately? *Journal of the American Society for Information Science and technology*, 61(12), pp.2389–2404.
- Chen, L., Redmile-Gordon, M., Li, J., Zhang, J., Xin, X., Zhang, C., Ma, D. and Zhou, Y., 2019. Linking cropland ecosystem services to microbiome taxonomic composition and functional composition in a sandy loam soil with 28-year organic and inorganic fertilizer regimes. *Applied Soil Ecology*, [online] 139, pp.1–9. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.03.011>
- Crossman, N.D. and Bryan, B.A., 2009. Identifying cost-effective hotspots for restoring natural capital and enhancing landscape multifunctionality. *Ecological Economics*, [online] 68(3), pp.654–668. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.05.003>
- Daelemans, R., Hulsmans, E., Fockaert, L., Vranken, L., De Bruyn, L. and Honnay, O., 2023. Agroecosystem multifunctionality of apple orchards in relation to agricultural management and landscape context. *Ecological Indicators*, [online] 154, p.110496. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110496>
- Eldridge, D.J., Delgado-baquerizo, M., Quero, J.L., Ochoa, V., Gozalo, B., García-palacios, P., Escolar, C., García-Gómez, M., Prina, A., Bowker, M.A., Bran, D.E., Castro, I., Cea, A., Derak, M., Espinosa, C.I., Florentino, A., Gaitán, J.J., Gatica, G., Gómez-González, S., Ghiloufi, W., Gutierrez, J.R., Guzmán-montalván, E., Hernández, R.M., Hughes, F.M., Muñoz, W., Monerris, J., Ospina, A., Ramírez, D.A., Ribas-Fernández, Y.A., Romão, R.L., Torres-Díaz, C., Koen, T.B. and Maestre, F.T., 2020. Surface indicators are correlated with soil multifunctionality in global drylands. *Journal of Applied Ecology*, 57, pp.424–435. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13540>
- Fagioli, F.F., Rocchi, L., Paolotti, L., Słowiński, R. and Boggia, A., 2017. From the farm to the agri-food system: A multiple criteria framework to evaluate extended multi-functional value. *Ecological Indicators*, 79, pp.91–102. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2017.04.009>
- FAO, 2022. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022. Aprovechar la automatización de la agricultura para transformar los sistemas agroalimentarios. Rome:FAO. [online] Available at: <https://doi.org/10.4060/cb9479es>
- Finney, D.M. and Kaye, J.P., 2017. Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), pp.509–517. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12765>
- Flekens, L., Duarte, F. and Eicher, I., 2009. A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: A case study of Trás-os-Montes olive groves. *Journal of Rural Studies*, 25(1), pp.141–155. <https://doi.org/10.1016/J.JRURSTUD.2008.08.003>
- Gamfeldt, L., Hillebrand, H. and Jonsson, P.R., 2008. Multiple functions increase the importance of biodiversity for overall ecosystem functioning. *Ecology*, 89(5), pp.1223–1231. <https://doi.org/10.1890/06-2091.1>
- Garland, G., Banerjee, S., Edlinger, A., Miranda Oliveira, E., Herzog, C., Wittwer, R., Philippot, L., Maestre, F.T. and van der Heijden, M.G.A., 2021. A closer look at the functions behind ecosystem multifunctionality: A review. *Journal of Ecology*, [online] 109, pp.600–613. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13511>
- Hodobod, J., Barreteau, O., Allen, C. and Magda, D., 2016. Managing adaptively for multifunctionality in agricultural systems. *Journal of Environmental Management*, [online] 183, pp.379–388. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.064>

- Hölting, L., Beckmann, M., Volk, M. and Cord, A.F., 2019. Multifunctionality assessments – More than assessing multiple ecosystem functions and services? A quantitative literature review. *Ecological Indicators*, [online] 103, pp.226–235. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.009>
- Hölting, L., Komossa, F., Filyushkina, A., Gastinger, M.-M., Verburg, P.H., Beckmann, M., Volk, M., Cord, A.F., Verburg, P.H., Beckmann, M., Volk, M. and Including, A.F.C., 2020. Including stakeholders' perspectives on ecosystem services in multifunctionality assessments. *Ecosystems and People*, [online] 16(1), pp.354–368. <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1833986>
- Jiang, G., Wang, M., Qu, Y., Zhou, D. and Ma, W., 2020. Towards cultivated land multifunction assessment in China: Applying the “influencing factors-functions-products-demands” integrated framework. *Land Use Policy*, [online] 99, p.104982. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104982>
- Jing, X., Prager, C.M., Borer, E.T., Gotelli, N.J., Gruner, D.S., He, J.-S., Kirkman, K., MacDougall, A.S., McCulley, R.L., Prober, S.M., Seabloom, E.W., Stevens, C.J., Classen, A.T. and Sanders, N.J., 2021. Spatial turnover of multiple ecosystem functions is more associated with plant than soil microbial β -diversity. *Ecosphere*, 12(7), p.e03644. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3644>
- Leroux, L., Clermont-Dauphin, C., Ndienor, M., Jourdan, C., Rouspard, O. and Seghier, J., 2022. A spatialized assessment of ecosystem service relationships in a multifunctional agroforestry landscape of Senegal. *Science of the Total Environment*, [online] 853, p.158707. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158707>
- Li, X., Qiao, L., Huang, Y., Li, D., Xu, M., Ge, T., Meersmans, J. and Zhang, W., 2023. Manuring improves soil health by sustaining multifunction at relatively high levels in subtropical area. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, [online] 353, p.108539. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108539>
- Lin, H. and Yun, H., 2023. Spatiotemporal Dynamics of Ecosystem Services Driven by Human Modification over the Past Seven Decades: A Case Study of Sihui Agricultural Watershed, China. *Land*, 12, p.577. <https://doi.org/10.3390/land12030577>
- Lovell, S.T., Mendez, V.E., Erickson, D.L., Nathan, C. and DeSantis, S., 2010. Extent, pattern, and multifunctionality of treed habitats on farms in Vermont, USA. *Agroforestry Systems*, [online] 80, pp.153–171. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9328-5>
- Marques-Perez, I. and Segura, B., 2018. Integrating social preferences analysis for multifunctional peri-urban farming in planning. An application by multi-criteria analysis techniques and stakeholders. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, [online] 42(9), pp.1029–1057. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1468379>
- Marsboom, C., Vrebo, D., Staes, J. and Meire, P., 2018. Using dimension reduction PCA to identify ecosystem service bundles. *Ecological Indicators*, 87, pp.209–260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.049>
- Mastrangelo, M.E., Weyland, F., Villarino, S.H., Barral, M.P., Nahuelhual, L. and Laterra, P., 2014. Concepts and methods for landscape multifunctionality and a unifying framework based on ecosystem services. *Landscape Ecology*, 29, pp.345–358. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9959-9>
- Moon, W., 2015. Conceptualising multifunctional agriculture from a global perspective: Implications for governing agricultural trade in the post-Doha Round era. *Land Use Policy*, 49, pp.252–263. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2015.07.026>
- Nazaries, L., Pal Singh, B., Rani Sarker, J., Fang, Y., Klein, M. and Singh, B.K., 2021. The response of soil multi-functionality to agricultural management practices can be predicted by key soil abiotic and biotic properties. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, [online] 307, p.107206. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107206>
- Parra-López, C., Calatrava-Requena, J. and De-Haro-Giménez, T., 2008. A systemic comparative assessment of the multifunctional performance of alternative olive systems in Spain within an AHP-extended framework.

- Ecological Economics*, 64(4), pp.820–834.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.004>
- Peralta González, M.J., Frías Guzmán, M. and Gregorio Chaviano, O., 2015. Criterios, clasificaciones y tendencias de los indicadores bibliométricos en la evaluación de la ciencia. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, [online] 26(3), pp.290–309. Available at: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_artext&pid=S2307-21132015000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es [Accessed 20 September 2023]
- Perianes-Rodriguez, A., Waltman, L. and van Eck, N.J., 2016. Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. *Journal of Informetrics*, 10, pp.1178–1195.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.10.006>
- Pinto-Correia, T., Guiomar, N., Ferraz-de-Oliveira, M.I., Sales-Baptista, E., Rabaça, J., Godinho, C., Ribeiro, N., Sá Sousa, P., Santos, P., Santos-Silva, C., Simões, M.P., Belo, A.D.F., Catarino, L., Costa, P., Fonseca, E., Godinho, S., Azeda, C., Almeida, M., Gomes, L., Lopes de Castro, J., Louro, R., Silvestre, M. and Vaz, M., 2018. Progress in Identifying High Nature Value Montados: Impacts of Grazing on Hardwood Rangeland Biodiversity. *Rangeland Ecology and Management*, [online] 71(5), pp.612–625.
<https://doi.org/10.1016/j.rama.2018.01.004>
- Pranckutė, R., 2021. Web of Science (WoS) and Scopus: the titans of bibliographic information in today's academic world. *Publications*, 9, p.12.
<https://doi.org/10.3390/publications9010012>
- Rac, I., Erjavec, K. and Erjavec, E., 2023. Agriculture and environment: friends or foes? Conceptualising agri-environmental discourses under the European Union's Common Agricultural Policy. *Agriculture and Human Values*, [online] 41, pp.147–166.
<https://doi.org/10.1007/s10460-023-10474-y>
- Ren, K., 2021. Following Rural Functions to Classify Rural Sites: An Application in Jixi, Anhui Province, China. *Land*, 10, p.418.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/land10040418>
- Richter, F., Jan, P., El Benni, N., Lüscher, A., Buchmann, N. and Klaus, V.H., 2021. A guide to assess and value ecosystem services of grasslands. *Ecosystem Services*, [online] 52, p.101376.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101376>
- Rodríguez Sousa, A.A., Parra-lópez, C., Sayadi-Gmada, S., Barandica, J.M. and Rescia, A.J., 2020. A multifunctional assessment of integrated and ecological farming in olive agroecosystems in southwestern Spain using the Analytic Hierarchy Process. *Ecological Economics*, [online] 173, p.106658.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106658>
- Rodríguez-Loinaz, G., Alday, J.G. and Onaindia, M., 2015. Multiple ecosystem services landscape index: A tool for multifunctional landscapes conservation. *Journal of Environmental Management*, [online] 147, pp.152–163.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.001>
- Romero, F., Hilfiker, S., Edlinger, A., Held, A., Hartman, K., Labouyrie, M. and van der Heijden, M.G.A., 2023. Soil microbial biodiversity promotes crop productivity and agro-ecosystem functioning in experimental microcosms. *Science of the Total Environment*, 885, p.163683.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163683>
- Salatino, M., 2022. Los circuitos lingüísticos de la publicación científica latinoamericana. *Tempo Social*, 34(3), pp.253–273.
<https://doi.org/10.11606/0103-2070.ts.2022.201928>
- Stokes, A., Bocquého, G., Carrere, P., Conde Salazar, R., Deconchat, M., Garcia, L., Gardarin, A., Gary, C., Gaucherel, C., Gueye, M., Hedde, M., Lescourret, F., Mao, Z., Quérrou, N., Rudi, G., Salles, J.-M., Soubeyran, R., Subervie, J., Vialatte, A., Vinatier, F. and Thomas, M., 2023. Services provided by multifunctional agroecosystems: Questions, obstacles and solutions. *Ecological Engineering*, [online] 191, p.106949.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106949>
- Stürck, J. and Verburg, P.H., 2017. Multifunctionality at what scale? A landscape multifunctionality assessment for the European Union under conditions of land use change. *Landscape Ecology*, 32, pp.481–500.
<https://doi.org/10.1007/s10980-016-0459-6>
- Tanács, E., Vári, Á., Bede-Fazekas, Á., Báldi, A., Csákvári, E., Endrédi, A., Fabók, V., Kisné Fodor, L., Kiss, M., Koncz, P., Kovács-Hostyánszki, A., Mészáros, J., Pásztor, L.,

- Reznek, R., Standovář, T., Zsembery, Z. and Török, K., 2023. Finding the Green Grass in the Haystack? Integrated National Assessment of Ecosystem Services and Condition in Hungary, in Support of Conservation and Planning. *Sustainability*, 15, p.8489. <https://doi.org/10.3390/su15118489>
- Taniguchi, T., Akaji, Y., Yamato, M., Kusakabe, R., Goomaral, A., Undarmaa, J. and Yamanaka, N., 2022. Dominance of arbuscular mycorrhizal fungi is key for Mongolian steppe management under livestock grazing, as indicated by ecosystem multifunctionality. *Ecological Indicators*, [online] 136, p.108686. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108686>
- Tekalign, M., Van Meerbeek, K., Aerts, R., Norgrove, L., Poesen, J., Nyssen, J. and Muys, B., 2017. Effects of biodiversity loss and restoration scenarios on tree-related ecosystem services. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, [online] 13(1), pp.434–443. <https://doi.org/10.1080/21513732.2017.1399929>
- Torralba, M., Oteros-Rozas, E., Moreno, G. and Plieninger, T., 2018. Exploring the Role of Management in the Coproduction of Ecosystem Services from Spanish Wooded Rangelands. *Rangeland Ecology and Management*, [online] 71(5), pp.549–559. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2017.09.001>
- Tran, D.X., Pearson, D., Palmer, A., Gray, D., Lowry, J. and Dominati, E.J., 2022. A comprehensive spatially-explicit analysis of agricultural landscape multifunctionality using a New Zealand hill country farm case study. *Agricultural Systems*, [online] 203, p.103494. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103494>
- Valujeva, K., O’Sullivan, L., Gutzler, C., Fealy, R. and Schulte, R.P.O., 2016. The challenge of managing soil functions at multiple scales: An optimisation study of the synergistic and antagonistic trade-offs between soil functions in Ireland. *Land Use Policy*, [online] 58, pp.335–347. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.07.028>
- van der Plas, F., Allan, E., Fischer, M., Alt, F., Arndt, H., Binkenstein, J., Blaser, S., Blüthgen, N., Böhm, S., Hölzel, N., Klaus, V.H., Kleinebecker, T., Morris, K., Oelmann, Y., Prati, D., Renner, S.C., Rillig, M.C., Schaefer, H.M., Schloter, M., Schmitt, B., Schöning, I., Schruppf, M., Solly, E.F., Sorkau, E., Steckel, J., Steffan-Dewenter, I., Stempfhuber, B., Tschapka, M., Weiner, C.N., Weisser, W.W., Werner, M., Westphal, C., Wilcke, W. and Manning, P., 2019. Towards the development of general rules describing landscape heterogeneity–multifunctionality relationships. *Journal of Applied Ecology*, 56, pp.168–179. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13260>
- van Eck, N.J. and Waltman, L., 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, [online] 84(2), pp.523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Vazquez, C., de Goede, R.G.M., Rutgers, M., de Koeijer, T.J. and Creamer, R.E., 2021. Assessing multifunctionality of agricultural soils: Reducing the biodiversity trade-off. *European Journal of Soil Science*, 72, pp.1624–1639. <https://doi.org/10.1111/ejss.13019>
- Velmurugan, A., Swarnam, T.P., Jaisankar, I., Swain, S. and Subramani, T., 2022. Vegetation–soil–microbial diversity influences ecosystem multifunctionality across different tropical coastal ecosystem types. *Tropical Ecology*, [online] 63, pp.273–285. <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00209-7>
- Waltman, L. and van Eck, N.J., 2012. A New Methodology for Constructing a Publication-Level Classification System of Science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(12), pp.2378–2392. <https://doi.org/10.1002/asi.22748>
- Willemen, L., Hein, L., van Mensvoort, M.E.F. and Verburg, P.H., 2010. Space for people, plants, and livestock? Quantifying interactions among multiple landscape functions in a Dutch rural region. *Ecological Indicators*, 10(1), pp.62–73. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2009.02.015>
- Willemen, L., Verburg, P.H., Hein, L. and van Mensvoort, M.E.F., 2008. Spatial characterization of landscape functions. *Landscape and Urban Planning*, 88(1), pp.34–43. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.08.004>

- Yang, R., Yang, Z., Yang, S., Chen, L., Xin, J., Xu, L., Zhang, X., Zhai, B., Wang, Z., Zheng, W. and Li, Z., 2023. Nitrogen inhibitors improve soil ecosystem multifunctionality by enhancing soil quality and alleviating microbial nitrogen limitation. *Science of the Total Environment*, [online] 880, p.163238. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163238>
- Zhao, R., Li, J., Wu, K. and Kang, L., 2021. Cultivated Land Use Zoning Based on Soil Function Evaluation from the Perspective of Black Soil Protection. *Land*, 10, p.605. <https://doi.org/10.3390/land10060605>
- Zinchuk, T., Kutsmus, N., Prokopchuk, O., Lagodiienko, V., Nych, T. and Naumko, Y., 2021. Multifunctionality of Agriculture in the Reality of Globalization Crisis. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22(1), pp.51–59. <https://doi.org/10.12912/27197050/132094>
- Zwetsloot, M.J., Bongiorno, G., Barel, J.M., di Lonardo, D.P. and Creamer, R.E., 2022. A flexible selection tool for the inclusion of soil biology methods in the assessment of soil multifunctionality. *Soil Biology and Biochemistry*, [online] 166, p.108514. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108514>