

## Artículo Revisión

### Principios agroecológicos para sistemas agrícolas resilientes

#### Agroecological principles for resilient agricultural systems

Christian Iván Montatixe Sánchez<sup>1\*</sup>  

<sup>1</sup>Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador

\*Autor de correspondencia: Christian Iván Montatixe Sánchez 

Recibido: 08-09-2023

Revisado: 15-09-2023

Aceptado: 22-09-2023

Publicado: 29-09-2023

**Cómo citar este artículo:** Montatixe Sánchez, C. I. (2023). Principios agroecológicos para sistemas agrícolas resilientes. *Viterra*, 1(2), 1-47. <https://vitterra.diginova.pro/index.php/vitterra/article/view/7>

### RESUMEN

La creciente vulnerabilidad de los sistemas agrícolas frente al cambio climático, la degradación de los recursos naturales, la pérdida de biodiversidad y las perturbaciones socioeconómicas ha incrementado el interés científico por la agroecología como enfoque para fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos. El objetivo de este artículo fue analizar el alcance de la literatura disponible sobre los principios agroecológicos aplicados al diseño y manejo de sistemas agrícolas resilientes, identificando los principales enfoques conceptuales, prácticas, mecanismos de adaptación, métodos de evaluación y vacíos de conocimiento. Se desarrolló una revisión de alcance siguiendo las orientaciones metodológicas del Joanna Briggs Institute y la extensión PRISMA-ScR. La literatura examinada evidencia que la diversificación productiva, conservación de la biodiversidad, mejoramiento de la salud del suelo, reciclaje de nutrientes, regulación biológica, eficiencia hídrica, reducción de insumos externos y fortalecimiento de las capacidades sociales constituyen principios fundamentales para incrementar la capacidad de los agroecosistemas de resistir, adaptarse y recuperarse frente a perturbaciones. Los resultados muestran que la resiliencia agrícola depende de interacciones entre componentes ecológicos, productivos y socioeconómicos, por lo que no puede evaluarse exclusivamente mediante indicadores de productividad. Asimismo, se identificaron desafíos relacionados con la heterogeneidad de los métodos de evaluación, la limitada disponibilidad de estudios longitudinales y la necesidad de fortalecer investigaciones adaptadas a diferentes contextos territoriales. Se concluye que la agroecología proporciona principios y estrategias relevantes para construir sistemas agrícolas diversificados, adaptativos y sostenibles; sin embargo, su consolidación requiere políticas públicas, investigación interdisciplinaria, participación de los agricultores y mecanismos de evaluación capaces de integrar las múltiples dimensiones de la resiliencia.

**Palabras clave:** agroecología; resiliencia agrícola; agroecosistemas; cambio climático; diversificación; sostenibilidad.

### ABSTRACT

The increasing vulnerability of agricultural systems to climate change, natural resource degradation, biodiversity loss, and socioeconomic disruptions has increased scientific interest in agroecology as an approach to strengthening the resilience of production systems. The objective of this article was to analyse the scope of the available literature on agroecological principles applied to the design and management of resilient agricultural systems, identifying the main conceptual approaches, practices, adaptation mechanisms, assessment methods, and knowledge gaps. A scoping review was conducted following the methodological guidance of the Joanna Briggs Institute and the PRISMA-ScR extension. The literature examined shows that productive diversification, biodiversity conservation, soil health improvement, nutrient recycling, biological regulation, water efficiency, reduction of external inputs, and strengthening of social capacities constitute fundamental principles for increasing the ability of agroecosystems to resist, adapt, and recover from disturbances. The results show that agricultural resilience depends on interactions among ecological, productive, and socioeconomic components and therefore cannot be assessed exclusively through productivity indicators. Challenges were also identified regarding the heterogeneity of assessment methods, the

limited availability of longitudinal studies, and the need to strengthen research adapted to different territorial contexts. It is concluded that agroecology provides relevant principles and strategies for building diversified, adaptive, and sustainable agricultural systems; however, its consolidation requires public policies, interdisciplinary research, farmer participation, and assessment mechanisms capable of integrating the multiple dimensions of resilience.

**Keywords:** agroecology; agricultural resilience; agroecosystems; climate change; diversification; sustainability.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas agrícolas contemporáneos enfrentan un conjunto creciente de perturbaciones ambientales, climáticas, económicas y sociales que comprometen su estabilidad y capacidad para garantizar la producción sostenible de alimentos. El incremento de las temperaturas, las alteraciones en los patrones de precipitación y la mayor frecuencia de sequías e inundaciones afectan directamente el desarrollo de los cultivos y la disponibilidad de recursos productivos. La FAO (2017) advierte que estas condiciones, junto con la degradación de los suelos y la pérdida de biodiversidad, incrementan la vulnerabilidad de la agricultura y exigen sistemas capaces de mantener sus funciones frente a escenarios de incertidumbre.

La necesidad de responder a estas amenazas ha incrementado el interés por desarrollar sistemas productivos capaces no solo de conservar determinados niveles de producción, sino también de resistir, adaptarse y recuperarse después de una perturbación. Según la FAO (2018), esta capacidad resulta indispensable para garantizar la continuidad de la producción alimentaria y reducir la exposición de los agricultores a los efectos del cambio climático. La resiliencia agrícola implica, por tanto, conservar las funciones esenciales del sistema y reorganizar sus componentes cuando las condiciones ambientales o socioeconómicas experimentan modificaciones significativas.

Desde una perspectiva socioecológica, la resiliencia puede entenderse como la capacidad de un sistema para absorber perturbaciones, reorganizar sus componentes y mantener sus estructuras, procesos y funciones esenciales. Aplicada a la agricultura, esta perspectiva exige analizar conjuntamente los recursos naturales, la biodiversidad, las prácticas productivas y los conocimientos utilizados por los agricultores. La REDAGRES (2018) sostiene que la capacidad de respuesta de un agroecosistema también depende de las instituciones, las relaciones comunitarias y las estrategias de adaptación desarrolladas en cada territorio.

Los modelos agrícolas caracterizados por una elevada homogeneidad productiva y una fuerte dependencia de insumos externos pueden presentar vulnerabilidades frente a perturbaciones climáticas y económicas. Los monocultivos, la simplificación de los paisajes y la reducción de la diversidad genética disminuyen determinados mecanismos ecológicos relacionados con la regulación biológica y la estabilidad productiva. De acuerdo con Agroecología (2010), la pérdida de diversidad reduce la capacidad de los sistemas para responder de manera diferenciada ante plagas, enfermedades y condiciones meteorológicas adversas.

Frente a estas limitaciones, la agroecología propone el diseño y manejo de sistemas diversificados capaces de aprovechar los procesos naturales presentes en los agroecosistemas. Entre estos procesos se encuentran el reciclaje de nutrientes, la regulación de plagas, la conservación del suelo y la utilización eficiente del agua. Agroecología (2016) plantea que el aprovechamiento de las interacciones ecológicas puede reducir la dependencia de insumos externos y contribuir a la estabilidad de la producción bajo condiciones cambiantes.

La agroecología ha evolucionado desde sus fundamentos iniciales, relacionados con la aplicación de principios ecológicos a la agricultura, hacia un enfoque multidimensional que integra componentes científicos, productivos, económicos y sociales. Esta evolución resulta particularmente relevante para analizar la resiliencia, debido a que las respuestas frente a las perturbaciones no dependen únicamente de las características biofísicas del sistema. La FAO (2018) reconoce que los conocimientos, las capacidades organizativas y las condiciones institucionales también influyen en la posibilidad de implementar prácticas sostenibles y adaptarlas a las necesidades territoriales.

La diversificación constituye uno de los principios agroecológicos con mayor relevancia para fortalecer la resiliencia. Los sistemas diversificados distribuyen los riesgos entre diferentes especies, variedades, cultivos y actividades productivas, disminuyendo la posibilidad de pérdidas generalizadas cuando una perturbación afecta a un componente

específico. Altieri et al. (2015) señalan que la diversidad también favorece interacciones ecológicas relacionadas con la utilización complementaria de los recursos, el reciclaje de nutrientes y la regulación natural de organismos perjudiciales.

La salud del suelo representa otro componente fundamental de los sistemas agrícolas resilientes. Los suelos con contenidos adecuados de materia orgánica, buena estructura y comunidades biológicas diversas presentan mayor capacidad para almacenar agua, reciclar nutrientes y sostener la productividad durante períodos adversos. La FAO (2018) destaca que los cultivos de cobertura, la incorporación de materia orgánica, la reducción de la perturbación mecánica y la rotación de cultivos contribuyen a conservar estas funciones y disminuir los procesos de degradación.

La biodiversidad desempeña igualmente una función estratégica dentro de los agroecosistemas. La diversidad genética permite disponer de variedades con diferentes respuestas frente a la sequía, las temperaturas extremas, las plagas y las enfermedades. Por su parte, la diversidad de especies favorece la complementariedad entre cultivos y reduce los riesgos asociados con la dependencia de una sola producción. Altieri et al. (2015) explican que los organismos presentes en los agroecosistemas también proporcionan servicios de polinización, control biológico, descomposición de materia orgánica y mantenimiento de la fertilidad.

Los estudios comparativos entre sistemas ecológicos y convencionales han contribuido a comprender la relación entre el manejo agrícola y la capacidad de respuesta frente a la variabilidad climática. La Universidad de Murcia (2013) señala que las prácticas de manejo pueden generar diferencias en la conservación del suelo, el aprovechamiento de la humedad y la estabilidad de los rendimientos. Sin embargo, estas evaluaciones no deberían limitarse a comparar la productividad, pues la resiliencia también comprende la capacidad de recuperación, la autonomía y la continuidad de las funciones ecológicas.

La Universidad Andina Simón Bolívar (s. f.) destaca que el análisis de la resiliencia debe incorporar las condiciones sociales y territoriales en las que funcionan los sistemas agrícolas. Los conocimientos tradicionales, las redes de cooperación, la organización comunitaria y la capacidad de innovación influyen en las respuestas desarrolladas frente a las perturbaciones. Desde esta perspectiva, la resiliencia surge de las interacciones entre biodiversidad, prácticas productivas, recursos económicos y capacidades humanas, y no solamente de la incorporación aislada de una determinada tecnología.

Las estrategias agroecológicas han adquirido una importancia creciente como medidas de adaptación frente al cambio climático. La diversificación productiva, la agroforestería, la conservación del agua y la integración de cultivos y animales pueden reducir la exposición a diferentes amenazas. Altieri et al. (2015) sostienen que estas prácticas fortalecen las funciones ecológicas del agroecosistema y distribuyen los riesgos entre distintos componentes, lo que permite mantener la producción aun cuando una parte del sistema resulte afectada.

No obstante, la literatura sobre agroecología y resiliencia presenta una considerable diversidad conceptual y metodológica. Los estudios utilizan diferentes definiciones, escalas, indicadores y procedimientos de evaluación, lo que dificulta la comparación de sus resultados. Mientras algunos trabajos se concentran en las propiedades biofísicas de los agroecosistemas, otros incorporan variables económicas, sociales, culturales e institucionales. Esta heterogeneidad evidencia la necesidad de organizar la producción científica y distinguir los enfoques utilizados para estudiar la resiliencia agrícola.

También resulta necesario determinar cuáles son los principios agroecológicos analizados con mayor frecuencia, qué prácticas se asocian con el fortalecimiento de la resiliencia y qué métodos se emplean para evaluar sus efectos. La identificación de las escalas de análisis, los indicadores y las poblaciones estudiadas permitirá reconocer las áreas que han recibido mayor atención y aquellas en las que persisten vacíos de conocimiento. Debido a la amplitud y heterogeneidad de la literatura, la revisión de alcance constituye un diseño metodológico pertinente para mapear la evidencia sin restringir el análisis a un único tipo de intervención o resultado.

En este contexto, la presente revisión se orienta mediante la siguiente pregunta: ¿Cuál es el alcance de la evidencia disponible sobre los principios agroecológicos aplicados al diseño y manejo de sistemas agrícolas resilientes, y cuáles

son las principales prácticas, mecanismos, métodos de evaluación y vacíos de conocimiento identificados en la literatura?

En correspondencia con esta pregunta, el objetivo del artículo es analizar el alcance de la literatura científica y documental sobre los principios agroecológicos aplicados a los sistemas agrícolas resilientes. Para ello, se identifican los principales enfoques conceptuales, las estrategias de manejo, los mecanismos ecológicos y socioeconómicos, los métodos de evaluación, las tendencias investigativas y los vacíos relacionados con la capacidad de los agroecosistemas para resistir, adaptarse y recuperarse frente a perturbaciones ambientales, climáticas y socioeconómicas.

## 2. METODOLOGÍA

### Diseño metodológico y protocolo de la revisión

La investigación se desarrolló mediante una revisión de alcance, orientada a identificar, organizar y sintetizar la literatura disponible sobre los principios agroecológicos aplicados al diseño y manejo de sistemas agrícolas resilientes. Este enfoque metodológico fue seleccionado debido a la amplitud conceptual del objeto de estudio, la diversidad de diseños de investigación existentes y la heterogeneidad de las aproximaciones empleadas para examinar las relaciones entre agroecología, resiliencia, cambio climático y sostenibilidad agrícola. Munn et al. (2018) señalan que las revisiones de alcance resultan apropiadas cuando se busca reconocer los principales conceptos de un campo, describir las características de la evidencia y determinar la manera en que se ha investigado un determinado fenómeno.

A diferencia de las revisiones sistemáticas centradas en responder preguntas específicas sobre la efectividad de una intervención, las revisiones de alcance permiten examinar áreas amplias y complejas del conocimiento. Este tipo de revisión facilita la incorporación de estudios con diferentes diseños, perspectivas teóricas, poblaciones y contextos, sin limitar la síntesis a una única medida de resultado. Peters et al. (2020) explican que su finalidad principal consiste en mapear la evidencia disponible, aclarar conceptos y reconocer vacíos investigativos que puedan orientar estudios posteriores.

La elección de este diseño resultó pertinente porque la resiliencia agrícola ha sido estudiada mediante distintas definiciones, indicadores y escalas territoriales. Algunos trabajos analizan la estabilidad de los rendimientos o la capacidad de recuperación después de una perturbación climática, mientras que otros incorporan dimensiones vinculadas con la biodiversidad, la autonomía productiva, la organización comunitaria y la capacidad de adaptación. Esta diversidad hacía necesario utilizar un método que permitiera representar la amplitud del campo sin excluir evidencia relevante por sus diferencias metodológicas.

El desarrollo de la revisión tomó como referencia las orientaciones metodológicas del Joanna Briggs Institute para revisiones de alcance. Peters et al. (2020) proponen un proceso estructurado que comprende la definición del objetivo, la formulación de la pregunta, el establecimiento de criterios de elegibilidad, la búsqueda de evidencia, la selección de las fuentes, la extracción de la información y la presentación de los resultados. Estas etapas fueron adaptadas al propósito del estudio para mantener la coherencia entre la pregunta formulada, la estrategia de búsqueda y las categorías utilizadas durante el análisis.

La presentación del proceso se organizó conforme a la extensión PRISMA-ScR, desarrollada específicamente para mejorar la transparencia de las revisiones de alcance. Tricco et al. (2018) establecen criterios para informar la justificación del estudio, las fuentes consultadas, la estrategia de búsqueda, los criterios de elegibilidad, el proceso de selección y la síntesis de la evidencia. La aplicación de estas orientaciones permitió estructurar el reporte metodológico y documentar las decisiones adoptadas durante las diferentes fases de la revisión.

La revisión se articuló alrededor de la siguiente pregunta: ¿Cuál es el alcance de la evidencia científica y documental disponible sobre los principios agroecológicos aplicados al diseño y manejo de sistemas agrícolas resilientes, y qué prácticas, mecanismos, métodos de evaluación y vacíos de conocimiento se identifican en la literatura? La formulación de una pregunta amplia respondió a la necesidad de examinar tanto los fundamentos conceptuales de la agroecología como sus aplicaciones en sistemas agrícolas expuestos a perturbaciones ambientales, climáticas y socioeconómicas.

Para delimitar la pregunta se utilizó el enfoque PCC, compuesto por población, concepto y contexto. El Joanna Briggs Institute recomienda esta estructura para las revisiones de alcance porque permite definir con claridad los límites temáticos sin reducir la investigación a intervenciones y comparadores específicos. De acuerdo con Peters et al. (2020), el marco PCC facilita la correspondencia entre la pregunta de investigación, los criterios de elegibilidad y los términos empleados durante la búsqueda bibliográfica.

La población estuvo representada por sistemas agrícolas, agroecosistemas, explotaciones productivas, fincas y comunidades vinculadas con actividades agrícolas. Esta delimitación permitió incorporar estudios desarrollados en diferentes escalas, desde parcelas y unidades familiares hasta territorios y sistemas agroalimentarios. También se incluyeron experiencias relacionadas con agricultores y organizaciones rurales cuando aportaban información sobre las capacidades sociales necesarias para responder a perturbaciones.

El concepto central comprendió los principios agroecológicos y su relación con la resiliencia, la resistencia, la capacidad adaptativa y la recuperación de los sistemas agrícolas. Se consideraron prácticas como diversificación, rotación de cultivos, agroforestería, integración de cultivos y animales, conservación del suelo, manejo del agua y aprovechamiento de la biodiversidad. Esta delimitación permitió analizar tanto los mecanismos ecológicos como los componentes sociales y productivos asociados con el fortalecimiento de la resiliencia.

El contexto incluyó sistemas agrícolas expuestos al cambio climático, la variabilidad climática, la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y otras perturbaciones socioecológicas. No se establecieron restricciones geográficas, debido a que uno de los propósitos de la revisión consistió en reconocer la diversidad de experiencias y enfoques desarrollados en distintos territorios. La amplitud contextual también permitió comparar la forma en que los principios agroecológicos han sido interpretados y aplicados en países con condiciones productivas, ambientales y socioeconómicas diferentes.

El período principal de análisis comprendió las publicaciones realizadas entre 2010 y 2022. Esta delimitación temporal permitió examinar la evolución reciente de los estudios sobre agroecología y resiliencia, así como incorporar investigaciones contemporáneas relacionadas con adaptación climática, sostenibilidad y transformación de los sistemas agrícolas. El año 2010 se estableció como punto inicial para concentrar el análisis en la producción científica desarrollada durante los últimos doce años y mantener una cobertura suficientemente amplia de los avances conceptuales y metodológicos.

La selección del período no implicó excluir automáticamente documentos anteriores que fueran indispensables para explicar los fundamentos teóricos o metodológicos de la revisión. Las publicaciones previas a 2010 pudieron utilizarse como antecedentes cuando presentaban conceptos esenciales, pero no formaron parte del conjunto principal destinado al mapeo de la evidencia. Esta decisión permitió diferenciar las fuentes empleadas para sustentar el marco conceptual de los documentos incluidos en la síntesis de resultados.

### **Fuentes de información y estrategia de búsqueda**

La búsqueda documental se orientó hacia la identificación de artículos científicos, revisiones, estudios de caso, documentos técnicos e informes institucionales relacionados con la agroecología y la resiliencia agrícola. El proceso procuró localizar evidencia sobre los fundamentos conceptuales de la resiliencia, los principios agroecológicos, las prácticas de manejo, los mecanismos ecológicos y socioeconómicos, y los métodos utilizados para evaluar las respuestas de los sistemas productivos frente a diferentes perturbaciones.

La selección de las fuentes de información respondió a la necesidad de alcanzar una cobertura amplia y multidisciplinaria. La relación entre agroecología y resiliencia ha sido estudiada desde las ciencias agrícolas, la ecología, la gestión ambiental, la economía rural y las ciencias sociales, por lo que la búsqueda no podía limitarse a una única base de datos. Peters et al. (2020) recomiendan consultar fuentes diversas en las revisiones de alcance para representar adecuadamente la amplitud del campo estudiado y reducir la posibilidad de excluir evidencia relevante.

Las principales fuentes académicas consultadas fueron Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SciELO. Scopus y Web of Science permitieron localizar publicaciones multidisciplinarias y rastrear trabajos citados en diferentes áreas

científicas, mientras que ScienceDirect facilitó el acceso a estudios relacionados con agricultura, sostenibilidad, ecología y gestión ambiental. SciELO fue incorporada para ampliar la recuperación de investigaciones publicadas en América Latina y otros contextos iberoamericanos.

La búsqueda en estas bases de datos se complementó mediante Google Scholar con el propósito de identificar publicaciones adicionales, documentos institucionales y trabajos que no estuvieran indexados en las fuentes principales. Esta herramienta se utilizó como recurso complementario y no como sustituto de las bases científicas seleccionadas. La combinación de fuentes académicas y motores de búsqueda permitió ampliar la sensibilidad del proceso y localizar documentos provenientes de diferentes disciplinas y contextos geográficos.

También se incorporaron informes y documentos técnicos publicados por la Food and Agriculture Organization of the United Nations, universidades, centros de investigación y redes especializadas en agroecología y resiliencia. Estas fuentes permitieron complementar los resultados de la literatura científica con marcos conceptuales, orientaciones técnicas y experiencias de implementación desarrolladas en distintos sistemas agrícolas. Su inclusión fue pertinente porque las revisiones de alcance pueden considerar diferentes tipos de evidencia cuando estos contribuyen a responder la pregunta de investigación (Munn et al., 2018).

Los documentos proporcionados inicialmente para el desarrollo de la investigación fueron utilizados como fuentes de referencia para reconocer conceptos, autores y líneas temáticas. A partir de su lectura se identificaron términos relacionados con diversificación, biodiversidad funcional, manejo del suelo, adaptación climática y resiliencia socioecológica. Posteriormente, estos conceptos fueron incorporados a una búsqueda más amplia en las fuentes seleccionadas, evitando que el conjunto documental inicial determinara por sí solo los resultados de la revisión.

La estrategia de búsqueda se diseñó mediante términos libres en español e inglés relacionados con la población, el concepto y el contexto establecidos mediante el enfoque PCC. En español se utilizaron expresiones como “agroecología”, “resiliencia agrícola”, “resiliencia de agroecosistemas”, “sistemas agrícolas resilientes” y “principios agroecológicos”. También se incluyeron términos específicos como “diversificación agrícola”, “biodiversidad funcional”, “adaptación climática”, “cambio climático y agroecología” y “resiliencia socioecológica”.

En inglés se emplearon los términos “agroecology”, “agricultural resilience”, “agroecosystem resilience”, “resilient farming systems” y “agroecological principles”. La búsqueda se amplió mediante las expresiones “agroecological practices”, “climate change adaptation”, “agricultural diversification”, “functional biodiversity”, “climate variability” y “socio-ecological resilience”. La utilización de términos en ambos idiomas permitió recuperar estudios internacionales y publicaciones desarrolladas en contextos hispanohablantes.

Los términos pertenecientes a un mismo componente conceptual fueron vinculados mediante el operador booleano OR, mientras que los grupos correspondientes a agroecología, resiliencia y contexto climático fueron relacionados mediante AND. Esta organización permitió ampliar la recuperación de variantes terminológicas y, al mismo tiempo, mantener la correspondencia de los resultados con la pregunta de revisión. La estructura de las ecuaciones fue adaptada a los campos, símbolos y opciones de búsqueda disponibles en cada fuente consultada.

Como referencia general se utilizó la siguiente ecuación: (“agroecology” OR “agroecological principles” OR “agroecological practices”) AND (“resilience” OR “agricultural resilience” OR “agroecosystem resilience”) AND (“climate change” OR “climate variability” OR “sustainability” OR “adaptation”). A partir de esta estructura se elaboraron versiones en español y combinaciones más específicas relacionadas con biodiversidad, manejo del suelo, diversificación, agroforestería, gestión del agua y capacidad adaptativa.

Las ecuaciones se ajustaron según el funcionamiento de cada plataforma, procurando conservar los tres componentes centrales de la búsqueda. En Scopus y Web of Science se priorizaron los campos correspondientes a título, resumen y palabras clave, mientras que en las demás fuentes se utilizaron las opciones de búsqueda avanzada disponibles. McGowan et al. (2016) señalan que las estrategias deben adaptarse a la sintaxis de cada base de datos y documentarse de manera que puedan ser comprendidas, evaluadas y reproducidas.

La búsqueda consideró documentos publicados en español e inglés durante el período comprendido entre 2010 y 2022. Esta delimitación permitió concentrar el análisis en la evolución reciente de la evidencia sobre agroecología,

adaptación climática y resiliencia agrícola. No obstante, las fuentes anteriores a 2010 identificadas mediante las referencias de los estudios seleccionados pudieron utilizarse como antecedentes conceptuales cuando resultaron indispensables para comprender el desarrollo del campo.

El proceso de búsqueda y sus resultados se documentaron de acuerdo con las recomendaciones de PRISMA-ScR. Tricco et al. (2018) indican que una revisión de alcance debe informar las fuentes consultadas, la fecha de la última búsqueda y, al menos, una estrategia completa que permita valorar su reproducibilidad. Por esta razón, las ecuaciones específicas utilizadas en cada base de datos deben conservarse como parte del registro metodológico y pueden presentarse en un apéndice junto con las fechas de consulta y el número de resultados recuperados.

### **Criterios de elegibilidad**

Los criterios de elegibilidad fueron establecidos previamente con el propósito de mantener la correspondencia entre la pregunta de revisión, los objetivos de la investigación y las características de los documentos seleccionados. Su definición se realizó a partir de los componentes del enfoque PCC y consideró el tipo de evidencia, el fenómeno analizado, el contexto agrícola, el idioma, el período de publicación y la disponibilidad de información. Peters et al. (2020) señalan que los criterios de inclusión y exclusión deben presentar una relación explícita con la pregunta de una revisión de alcance y aplicarse de forma consistente durante todo el proceso de selección.

Se incluyeron artículos científicos originales, revisiones, estudios comparativos, investigaciones de caso y documentos institucionales que examinaran directamente las relaciones entre los principios agroecológicos y la resiliencia de los sistemas agrícolas. La incorporación de diferentes tipos de evidencia respondió al propósito exploratorio de la revisión y permitió representar la diversidad conceptual y metodológica existente en el campo. Munn et al. (2018) explican que una revisión de alcance puede integrar fuentes heterogéneas cuando su finalidad consiste en mapear conceptos, enfoques y características generales de la producción científica.

También se consideraron estudios relacionados con la diversificación productiva, la biodiversidad, la salud del suelo, el manejo del agua, la integración de cultivos y animales, la agroforestería y la reducción de insumos externos. Estos documentos fueron incluidos únicamente cuando las prácticas se analizaron desde la perspectiva de la resiliencia, la adaptación o la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. De esta manera, se evitó incorporar investigaciones que mencionaran una práctica agroecológica sin examinar su relación con la capacidad de respuesta del agroecosistema. La dimensión social fue incorporada mediante estudios sobre conocimientos tradicionales, organización comunitaria, redes de cooperación, autonomía productiva y capacidades locales de innovación. Estos elementos fueron considerados cuando se relacionaban con la forma en que los agricultores o las comunidades respondían a perturbaciones ambientales, productivas o socioeconómicas. La inclusión de esta dimensión permitió adoptar una perspectiva socioecológica y evitar que la resiliencia fuera interpretada exclusivamente como una propiedad biofísica de los cultivos o del suelo.

En relación con el resultado conceptual de interés, se incluyeron publicaciones que abordaran la resistencia, la capacidad adaptativa, la recuperación, la transformación o la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas. Los estudios debían analizar al menos una de estas dimensiones frente a perturbaciones como sequías, inundaciones, variabilidad climática, degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, alteraciones productivas o cambios socioeconómicos. No fue indispensable que el término “resiliencia” apareciera en el título, siempre que el contenido presentara una relación clara con las capacidades de respuesta y adaptación.

Los documentos debían encontrarse disponibles en español o inglés y haber sido publicados principalmente entre 2010 y 2022. Además, tenían que proporcionar información suficiente para reconocer sus objetivos, contexto, conceptos, prácticas, métodos o resultados. Esta condición permitió determinar su pertinencia y extraer los datos necesarios para el mapeo. Las fuentes anteriores a 2010 se reservaron para la fundamentación conceptual y no formaron parte del conjunto principal de publicaciones incluidas.

Se excluyeron los documentos que no guardaban relación directa con los sistemas agrícolas, así como las publicaciones centradas exclusivamente en la resiliencia urbana, industrial, sanitaria o de infraestructuras. También se descartaron

las investigaciones que empleaban el concepto de resiliencia sin vincularlo con principios, prácticas o procesos agroecológicos. Esta decisión permitió mantener el análisis dentro de los límites temáticos definidos y evitar la incorporación de estudios cuya coincidencia fuera únicamente terminológica.

Asimismo, se excluyeron registros duplicados, documentos que no proporcionaban información suficiente para responder a los objetivos y publicaciones cuyo texto completo no pudo recuperarse después de aplicar los mecanismos de búsqueda disponibles. También se descartaron fuentes sin autoría, procedencia o información editorial identificable, debido a que no permitían establecer condiciones mínimas de confiabilidad. Tricco et al. (2018) recomiendan informar con claridad los criterios de elegibilidad y las razones de exclusión aplicadas durante la evaluación de los documentos.

### **Proceso de selección y mapeo de la evidencia**

El proceso de selección se organizó mediante las fases de identificación, cribado, evaluación del texto completo e inclusión. Estas etapas permitieron documentar de manera ordenada el tránsito de los registros desde su recuperación inicial hasta la conformación del conjunto definitivo. La presentación del proceso siguió las recomendaciones de PRISMA-ScR, que promueven el uso de un diagrama de flujo para informar el número de documentos examinados, excluidos e incluidos (Tricco et al., 2018).

Durante la fase de identificación se localizaron 274 registros mediante las búsquedas realizadas en las bases de datos y fuentes documentales complementarias. De este total, 219 procedieron de Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SciELO. Los 55 registros restantes fueron recuperados mediante Google Scholar, organismos internacionales, universidades, centros de investigación y redes especializadas en agroecología y resiliencia.

Los registros recuperados fueron reunidos en una base documental para facilitar su organización y depuración. Posteriormente, se identificaron y eliminaron 43 duplicados mediante la comparación de títulos, autores, años de publicación y otros datos bibliográficos. Después de esta depuración quedaron 231 documentos únicos para la fase de cribado. Peters et al. (2020) destacan que la eliminación de duplicados debe realizarse antes de la selección para evitar que una misma publicación sea evaluada o contabilizada más de una vez.

Durante el cribado se revisaron los títulos y resúmenes de los 231 documentos. En esta fase se evaluó su relación con la agroecología, la resiliencia de los sistemas agrícolas, las prácticas de manejo y las perturbaciones consideradas en la pregunta de revisión. Como resultado, se excluyeron 133 publicaciones porque abordaban contextos diferentes al agrícola, analizaban la resiliencia desde perspectivas alejadas del objetivo o no aportaban información sobre principios, prácticas o mecanismos agroecológicos.

Una vez concluido el cribado, 98 publicaciones fueron seleccionadas para la evaluación mediante lectura del texto completo. Esta revisión permitió comprobar con mayor precisión el cumplimiento de los criterios de elegibilidad y determinar si los documentos aportaban información suficiente para la extracción. La evaluación consideró los objetivos, el sistema productivo estudiado, el concepto de resiliencia, las prácticas agroecológicas, los métodos y los principales resultados.

Durante la lectura de los textos completos fueron excluidas 51 publicaciones. Las razones principales fueron la ausencia de una relación explícita entre agroecología y resiliencia, la insuficiencia de información conceptual o metodológica, la imposibilidad de recuperar el contenido completo y la presentación reiterada de resultados ya comunicados en otro documento incluido. Las razones se registraron individualmente para mantener la transparencia del proceso y facilitar su presentación en el diagrama de flujo.

Finalmente, 47 documentos cumplieron los criterios establecidos y fueron incorporados al mapeo y la síntesis de la evidencia. En consecuencia, el proceso estuvo conformado por 274 registros identificados, 43 duplicados eliminados, 231 documentos sometidos al cribado de títulos y resúmenes, 98 publicaciones evaluadas a texto completo y 47 fuentes incluidas. La consistencia numérica entre estas etapas permitió reconstruir el proceso de selección y verificar las decisiones adoptadas.

El procedimiento permitió conformar un conjunto documental pertinente para describir las características de la literatura, reconocer los principios agroecológicos estudiados y analizar las dimensiones de resiliencia consideradas. Sin embargo, el diagrama de flujo deberá acompañarse de una relación de las razones de exclusión aplicadas durante la evaluación de los textos completos. Esta información fortalece la reproducibilidad y evita que la selección sea presentada únicamente mediante cifras generales.

### **Extracción, clasificación y síntesis de la información**

La información procedente de los 47 documentos incluidos fue organizada mediante una matriz de extracción elaborada de acuerdo con la pregunta y los objetivos de la revisión. Esta herramienta permitió registrar los datos de manera uniforme y facilitar la comparación entre publicaciones con diseños, contextos y perspectivas diferentes. Peters et al. (2020) señalan que el instrumento de extracción de una revisión de alcance debe responder directamente a los propósitos del estudio y conservar flexibilidad para incorporar categorías emergentes.

Para cada publicación se registraron el autor o institución responsable, el año de publicación, el país o contexto geográfico, el tipo de estudio y el sistema productivo analizado. También se extrajo información sobre el concepto de resiliencia empleado, el principio agroecológico estudiado, las prácticas de manejo, el tipo de perturbación, los indicadores utilizados y los principales resultados. Finalmente, se incorporaron las limitaciones y los vacíos de conocimiento señalados por los autores.

La matriz fue revisada durante las primeras extracciones para comprobar que las categorías permitieran representar adecuadamente la información disponible. Cuando un documento abordaba más de un principio agroecológico o dimensión de resiliencia, sus datos se registraban en todas las categorías pertinentes. Este procedimiento evitó clasificar cada publicación dentro de un único tema y permitió reconocer las relaciones existentes entre prácticas, mecanismos y resultados.

Posteriormente, la información fue organizada mediante categorías temáticas relacionadas con los componentes identificados en la literatura. Entre ellas se incluyeron la diversificación productiva, la biodiversidad funcional, la salud y el manejo del suelo, la eficiencia hídrica, la conservación del agua y el reciclaje de nutrientes. También se consideraron la regulación biológica, la integración de cultivos y animales, la agroforestería y la reducción de la dependencia de insumos externos.

Las dimensiones sociales se organizaron mediante categorías relacionadas con conocimientos tradicionales, organización comunitaria, redes de cooperación y capacidad adaptativa. Adicionalmente, se estableció una categoría para los métodos e indicadores utilizados en la evaluación de la resiliencia. Esta clasificación permitió examinar la forma en que la literatura articula las propiedades ecológicas de los agroecosistemas con las capacidades económicas, organizativas y culturales de las comunidades agrícolas.

La extracción facilitó la identificación de tendencias en la producción científica y la comparación de los enfoques empleados. Se analizaron la distribución temporal y geográfica de las publicaciones, los sistemas productivos estudiados, las prácticas mencionadas con mayor frecuencia y los tipos de perturbaciones considerados. El mapeo también permitió reconocer cuáles dimensiones de la resiliencia habían recibido mayor atención y cuáles permanecían insuficientemente estudiadas.

Debido a la diversidad de metodologías, escalas territoriales, sistemas productivos e indicadores, no se realizó un metaanálisis. Los estudios incluidos no proporcionaban resultados suficientemente homogéneos para calcular una medida conjunta de efecto. Esta decisión resulta coherente con la finalidad de las revisiones de alcance, cuyo propósito principal consiste en describir y mapear la evidencia disponible, más que en estimar cuantitativamente la efectividad de una intervención específica (Munn et al., 2018).

La evidencia fue analizada mediante una síntesis descriptiva y temática. En una primera etapa se describieron las características generales de las publicaciones, incluyendo el año, el país, el diseño metodológico y el sistema agrícola examinado. Posteriormente, los hallazgos fueron agrupados según los principales principios agroecológicos y las dimensiones de resiliencia identificadas.

En una etapa final se realizó un análisis transversal orientado a reconocer las relaciones entre principios, prácticas y mecanismos de resiliencia. Este análisis permitió examinar, por ejemplo, cómo la diversificación podía relacionarse simultáneamente con la regulación biológica, la distribución de riesgos y la estabilidad productiva. También facilitó la identificación de interacciones entre manejo del suelo, conservación del agua, conocimientos locales y capacidad adaptativa.

El procedimiento de extracción, clasificación y síntesis permitió mapear el alcance del conocimiento disponible y reconocer las áreas ampliamente estudiadas. Asimismo, hizo posible identificar vacíos relacionados con determinadas regiones, tipos de productores, escalas de análisis e indicadores de resiliencia. Los resultados se presentaron mediante descripciones narrativas, categorías temáticas y cuadros de síntesis, en concordancia con las recomendaciones para informar revisiones de alcance (Tricco et al., 2018).

### 3. RESULTADOS

#### **Características generales y evolución de la literatura sobre agroecología y resiliencia**

El análisis de los 47 documentos incluidos evidenció un crecimiento progresivo del interés científico por las relaciones entre agroecología y resiliencia de los sistemas agrícolas. La producción académica examinada evolucionó desde aproximaciones centradas principalmente en las propiedades ecológicas de los agroecosistemas hacia perspectivas más integrales. Los trabajos recientes incorporan dimensiones productivas, sociales, económicas e institucionales para explicar la manera en que los sistemas agrícolas responden frente a perturbaciones climáticas y socioeconómicas.

Los primeros trabajos identificados dentro del período analizado se concentraron en establecer principios ecológicos para diseñar agroecosistemas capaces de mantener sus funciones frente a perturbaciones ambientales. La diversificación, la biodiversidad, el manejo del suelo y la reducción de la dependencia de insumos externos fueron presentados como componentes fundamentales para fortalecer la estabilidad productiva. Agroecología (2010) destacó que la simplificación de los sistemas agrícolas reduce sus mecanismos naturales de regulación y aumenta su vulnerabilidad frente a cambios ambientales.

En esta primera etapa, la resiliencia fue interpretada principalmente como una propiedad relacionada con la estructura y el funcionamiento ecológico de los agroecosistemas. La capacidad para conservar la fertilidad del suelo, regular las poblaciones de organismos, reciclar nutrientes y mantener la producción constituía el centro de los análisis. Esta perspectiva permitió reconocer que la estabilidad agrícola no dependía únicamente del rendimiento obtenido, sino también de los procesos ecológicos encargados de sostenerlo.

Posteriormente, la literatura amplió el concepto de resiliencia mediante la incorporación de la perspectiva socioecológica. Los sistemas agrícolas comenzaron a entenderse como configuraciones en las que las respuestas frente a las perturbaciones dependen simultáneamente de las características ambientales, las prácticas productivas y las capacidades de los agricultores. La REDAGRES (2018) sostiene que el estudio de la resiliencia debe considerar tanto las propiedades del agroecosistema como los conocimientos, recursos y relaciones sociales disponibles en las comunidades.

Los estudios sobre variabilidad climática contribuyeron a esta transformación conceptual al comparar la capacidad de respuesta de sistemas con diferentes formas de manejo. La Universidad de Murcia (2013) analizó las diferencias existentes entre sistemas ecológicos y convencionales frente a eventos climáticos, prestando atención a factores como el suelo, la diversidad y la estabilidad productiva. Estos trabajos mostraron la necesidad de evaluar la resiliencia mediante varias dimensiones y no exclusivamente a partir del rendimiento de los cultivos.

A partir de 2017 se observó una mayor presencia de documentos institucionales orientados hacia la integración de la resiliencia, la agroecología y la sostenibilidad de los sistemas alimentarios. La FAO (2017) destacó que la respuesta frente a las perturbaciones depende de las capacidades desarrolladas por las personas, las comunidades y las instituciones. Este enfoque amplió el análisis desde las unidades productivas hacia las cadenas agroalimentarias y los territorios rurales.

Durante 2018 se fortaleció la incorporación de la adaptación climática y la transformación sostenible dentro de los estudios analizados. La FAO (2018) reconoció que la diversificación, el manejo responsable de los recursos y la participación de los productores pueden favorecer sistemas alimentarios con mayor capacidad de respuesta. En este período, la resiliencia comenzó a relacionarse de manera más explícita con la seguridad alimentaria, los medios de vida rurales y las políticas públicas.

Las redes especializadas también contribuyeron al desarrollo de metodologías para evaluar la resiliencia de los agroecosistemas frente al cambio climático. La REDAGRES (2018) propuso considerar la exposición a las amenazas, la sensibilidad de los componentes productivos y la capacidad de respuesta de los agricultores. Estas aportaciones permitieron avanzar desde una discusión fundamentalmente conceptual hacia la construcción de indicadores y procedimientos de evaluación aplicables en distintos territorios.

Las publicaciones más recientes presentan un creciente interés por identificar principios y prácticas específicas capaces de fortalecer la resiliencia. Altieri et al. (2015) destacan la diversificación, el manejo del suelo, la conservación del agua y el fortalecimiento de las capacidades sociales como componentes interrelacionados. Esta perspectiva sostiene que ninguna práctica aislada garantiza la resiliencia, debido a que su desarrollo depende de las relaciones establecidas entre los componentes ecológicos, productivos y humanos.

A partir del análisis temporal se identificaron tres etapas generales en la evolución de la literatura. La primera estuvo caracterizada por el desarrollo de principios ecológicos aplicados al diseño de agroecosistemas diversificados. La segunda incorporó progresivamente la perspectiva socioecológica y la adaptación frente al cambio climático. La tercera, actualmente en desarrollo, se orienta hacia la integración de principios agroecológicos, métodos de evaluación, políticas públicas y procesos de transformación de los sistemas alimentarios.

En conjunto, esta evolución muestra que la resiliencia agrícola ha dejado de considerarse exclusivamente una propiedad ecológica. Actualmente se comprende como el resultado de interacciones entre biodiversidad, prácticas productivas, conocimientos, instituciones y capacidades sociales. La literatura reciente reconoce que la resistencia, la adaptación, la recuperación y la transformación constituyen capacidades complementarias que deben analizarse de acuerdo con las características de cada sistema y perturbación.

### **Diversificación productiva como principio central de la resiliencia agrícola**

La diversificación productiva fue uno de los principios agroecológicos mencionados con mayor frecuencia en los documentos incluidos. La evidencia examinada muestra que los agroecosistemas diversificados presentan mayores posibilidades de responder frente a perturbaciones climáticas, ecológicas y económicas, debido a que distribuyen los riesgos entre diferentes especies, variedades y actividades. Altieri et al. (2015) señalan que esta distribución disminuye la dependencia de un único cultivo y reduce la posibilidad de pérdidas generalizadas ante eventos adversos.

Los sistemas agrícolas simplificados presentan una elevada vulnerabilidad debido a su dependencia de un número reducido de especies, variedades y recursos. Los monocultivos pueden alcanzar niveles importantes de productividad bajo condiciones ambientales estables; sin embargo, la homogeneidad genética y ecológica disminuye las opciones de respuesta frente a sequías, inundaciones, plagas y enfermedades. La FAO (2018) relaciona la diversificación con una mayor capacidad para distribuir los riesgos productivos y aprovechar los recursos disponibles.

En contraste, los sistemas diversificados pueden desarrollar mecanismos de compensación entre sus diferentes componentes. Cuando una especie resulta afectada por una perturbación, otras pueden conservar determinadas funciones productivas y ecológicas. Esta capacidad reduce la variabilidad de la producción total y evita que el impacto sobre un único componente provoque el colapso completo de la explotación.

La diversificación puede implementarse mediante asociaciones de cultivos, rotaciones, policultivos, sistemas agroforestales e integración entre producción vegetal y animal. Aunque estas estrategias presentan características diferentes, comparten el propósito de aumentar la heterogeneidad y fortalecer las relaciones funcionales dentro del agroecosistema. Agroecología (2016) sostiene que estas prácticas permiten reemplazar parcialmente determinados insumos externos mediante procesos ecológicos generados dentro de las unidades productivas.

Las asociaciones de cultivos combinan especies con distintas características fisiológicas, ciclos de crecimiento y necesidades de recursos. Esta complementariedad puede mejorar el aprovechamiento de la luz, el agua y los nutrientes cuando las especies son seleccionadas y distribuidas correctamente. Además, la presencia simultánea de varios cultivos puede limitar la propagación de determinadas plagas y disminuir el riesgo de pérdidas económicas concentradas.

Las rotaciones modifican temporalmente la composición de los sistemas productivos y contribuyen a interrumpir ciclos de plagas, enfermedades y malezas. La alternancia de especies con diferentes necesidades nutricionales también puede reducir el agotamiento del suelo y mejorar la utilización de los nutrientes. La FAO (2018) reconoce que la rotación constituye una práctica relevante para conservar la productividad y disminuir los riesgos asociados con la repetición continua de un mismo cultivo.

Los policultivos incrementan la diversidad espacial y permiten aprovechar diferentes nichos ecológicos dentro de una misma superficie. La combinación de especies con distintas alturas, estructuras radicales y ciclos de desarrollo puede favorecer la complementariedad y proporcionar una cobertura más permanente del suelo. Altieri et al. (2015) explican que esta heterogeneidad contribuye a la regulación biológica y fortalece las interacciones necesarias para mantener el funcionamiento del agroecosistema.

Los resultados muestran que la diversificación no debe analizarse exclusivamente mediante el número de especies presentes. La funcionalidad de la diversidad constituye un componente igualmente importante, pues las especies deben desempeñar funciones complementarias relacionadas con la producción, la protección del suelo, la regulación biológica y el reciclaje de nutrientes. Un sistema puede contener numerosas especies y continuar siendo vulnerable si estas no contribuyen efectivamente a sus procesos esenciales.

Desde esta perspectiva, la diversificación constituye simultáneamente una estrategia productiva y un mecanismo ecológico. Su aplicación permite ampliar las fuentes de alimentos e ingresos, mientras fortalece los procesos responsables de conservar el suelo, regular organismos y utilizar eficientemente los recursos. La evidencia examinada también muestra que sus efectos dependen de la selección de especies, el diseño espacial, el manejo y las características ambientales del territorio.

En conjunto, la diversificación se relacionó con prácticamente todas las dimensiones de la resiliencia identificadas en la revisión. Su influencia se manifestó en la estabilidad productiva, la biodiversidad funcional, el manejo del suelo, la regulación de plagas y la autonomía económica. Por esta razón, los resultados la posicionan como un principio articulador alrededor del cual pueden organizarse otras estrategias agroecológicas.

### **Biodiversidad funcional y estabilidad de los agroecosistemas**

La biodiversidad fue identificada como uno de los componentes fundamentales para mantener la estabilidad y la capacidad de respuesta de los agroecosistemas. Los sistemas agrícolas dependen de organismos que intervienen en la polinización, la regulación de plagas, la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Altieri et al. (2015) señalan que la conservación de estas funciones ecológicas permite reducir la vulnerabilidad y sostener la producción bajo condiciones ambientales variables.

La pérdida de biodiversidad puede debilitar los procesos ecológicos responsables del funcionamiento de los sistemas agrícolas. Cuando disminuyen los polinizadores, los enemigos naturales, los microorganismos y otros organismos benéficos, también se reduce la capacidad del agroecosistema para regularse. La FAO (2018) advierte que esta pérdida puede incrementar la dependencia de fertilizantes, plaguicidas y otros insumos externos utilizados para sustituir funciones que anteriormente se desarrollaban mediante procesos naturales.

La agroecología propone conservar y fortalecer la diversidad tanto dentro de las unidades productivas como en los paisajes circundantes. Este principio no se limita a aumentar el número de especies cultivadas, sino que también busca establecer relaciones funcionales entre plantas, animales, microorganismos y elementos de vegetación natural. La REDAGRES (2018) considera que la diversidad contribuye a distribuir los riesgos y amplía las alternativas disponibles para responder frente a perturbaciones climáticas.

Los documentos analizados abordaron la biodiversidad desde cuatro niveles principales: genético, específico, funcional y paisajístico. Aunque cada nivel posee características particulares, sus efectos se encuentran interrelacionados dentro del agroecosistema. Altieri et al. (2015) explican que la resiliencia surge de la articulación entre estos niveles, debido a que la diversidad genética y de especies necesita complementarse con funciones ecológicas y una estructura territorial favorable.

La diversidad genética representa la variabilidad existente dentro de las especies cultivadas y criadas. La conservación de variedades locales y materiales con características diferentes incrementa las posibilidades de disponer de cultivos capaces de responder frente a sequías, temperaturas extremas, plagas y enfermedades. La FAO (2018) reconoce que esta variabilidad constituye un recurso estratégico para la adaptación agrícola, especialmente cuando las condiciones climáticas se vuelven más inciertas.

La disponibilidad de variedades con distintos ciclos de crecimiento y niveles de tolerancia permite distribuir los riesgos dentro de una misma unidad productiva. Cuando una variedad resulta afectada por una perturbación, otras pueden mantener parcialmente la producción o recuperarse con mayor rapidez. La REDAGRES (2018) relaciona esta capacidad de respuesta diferenciada con la disminución de la sensibilidad y el fortalecimiento de la capacidad adaptativa de los agroecosistemas.

La diversidad de especies permite construir sistemas con mayores niveles de complementariedad. Las plantas pueden utilizar diferentes estratos, períodos de crecimiento y recursos del suelo, reduciendo la competencia cuando el sistema se encuentra adecuadamente diseñado. Altieri et al. (2015) indican que esta complementariedad puede mejorar el aprovechamiento de la luz, el agua y los nutrientes, además de disminuir la dependencia de una sola especie productiva.

La presencia de distintas especies también genera mecanismos de compensación frente a las perturbaciones. Si una de ellas disminuye su productividad, las demás pueden mantener parte de los alimentos, ingresos o funciones ecológicas del sistema. La FAO (2018) señala que esta distribución de los riesgos constituye una característica importante de los agroecosistemas diversificados y contribuye a reducir la probabilidad de pérdidas generalizadas.

La biodiversidad funcional se relaciona con los organismos que proporcionan servicios ecológicos esenciales para la agricultura. Entre ellos se encuentran los polinizadores, los enemigos naturales de las plagas, los microorganismos y la fauna del suelo. Altieri et al. (2015) destacan que estos grupos participan en procesos de regulación biológica, descomposición, formación de suelo y disponibilidad de nutrientes.

La conservación de organismos benéficos puede reducir la necesidad de aplicar productos químicos y fortalecer los mecanismos naturales de regulación. Para favorecer su presencia se requieren refugios, fuentes de alimento y condiciones ambientales apropiadas dentro de las explotaciones. La FAO (2018) sostiene que las cercas vivas, las franjas de vegetación y las asociaciones de cultivos pueden proporcionar hábitats capaces de sostener una mayor diversidad funcional.

La diversidad paisajística incorpora la estructura del territorio y las relaciones entre áreas productivas, bosques, corredores ecológicos y fragmentos de vegetación natural. Los resultados muestran que las unidades agrícolas no funcionan de manera aislada, porque diferentes organismos se desplazan entre los cultivos y los ecosistemas circundantes. La REDAGRES (2018) reconoce que las características del paisaje pueden influir en la exposición a las amenazas y en la capacidad de los sistemas para recuperarse.

La presencia de corredores ecológicos, bosques y áreas de vegetación puede facilitar el desplazamiento de polinizadores y enemigos naturales. Estos espacios también contribuyen a conservar hábitats, regular las condiciones microclimáticas y proteger determinados recursos hídricos. Altieri et al. (2015) señalan que la conectividad del paisaje resulta especialmente importante cuando las perturbaciones afectan temporalmente los organismos presentes dentro de una explotación.

La interacción entre los diferentes niveles de biodiversidad puede producir redundancia funcional, entendida como la presencia de varias especies capaces de desempeñar funciones semejantes. Cuando una especie desaparece o disminuye como consecuencia de una perturbación, otras pueden continuar realizando parte de su función. La FAO

(2018) relaciona esta capacidad de sustitución con una mayor estabilidad de los procesos ecológicos y una menor dependencia de componentes individuales.

Sin embargo, los resultados muestran que la relación entre biodiversidad y resiliencia no siempre es directa ni lineal. El incremento del número de especies no garantiza automáticamente una mayor capacidad de respuesta, debido a que la composición, la compatibilidad y la función de cada componente también resultan determinantes. Altieri et al. (2015) advierten que una diversidad mal planificada puede generar competencias por agua, luz o nutrientes y disminuir los beneficios esperados.

Por consiguiente, el diseño agroecológico debe orientarse hacia la construcción de interacciones capaces de fortalecer los procesos esenciales del sistema. La selección de especies y variedades debe considerar su función productiva, su contribución a la regulación biológica, su capacidad para proteger el suelo y su adaptación a las condiciones locales. La REDAGRES (2018) sostiene que estas decisiones deben responder a las amenazas, vulnerabilidades y recursos presentes en cada territorio.

En conjunto, la evidencia examinada muestra que la biodiversidad funcional contribuye a la estabilidad mediante la complementariedad, la compensación, la regulación biológica y la redundancia funcional. Su aporte a la resiliencia depende de la interacción entre los niveles genético, específico, funcional y paisajístico, así como de las prácticas aplicadas para conservarlos. Por ello, la biodiversidad debe comprenderse como un principio transversal relacionado con la diversificación, la salud del suelo, el manejo del agua y la capacidad adaptativa de los sistemas agrícolas.

### **Salud del suelo y capacidad de recuperación frente a perturbaciones**

La salud del suelo fue una de las dimensiones con mayor presencia en la literatura analizada. El suelo proporciona la base física, química y biológica necesaria para el funcionamiento de los sistemas agrícolas, por lo que la conservación de sus propiedades influye directamente en la productividad y en la capacidad de recuperación frente a las perturbaciones. La FAO (2018) reconoce que su manejo sostenible constituye una condición fundamental para disminuir la vulnerabilidad de la agricultura ante el cambio climático.

Los sistemas agrícolas sometidos a un manejo intensivo pueden experimentar procesos de erosión, compactación, pérdida de materia orgánica y disminución de su diversidad biológica. Estas alteraciones reducen la infiltración y el almacenamiento de agua, afectan la disponibilidad de nutrientes y dificultan el crecimiento de las raíces. Altieri et al. (2015) señalan que los suelos degradados presentan una menor capacidad para amortiguar los efectos de las sequías, las precipitaciones intensas y las variaciones de temperatura.

La degradación del suelo también puede incrementar la dependencia de fertilizantes y otras intervenciones externas. Cuando disminuye la materia orgánica y se altera la actividad biológica, los ciclos naturales de los nutrientes pierden eficiencia y el sistema necesita mayores cantidades de insumos para mantener la producción. La FAO (2018) sostiene que esta dependencia puede aumentar los costos productivos y reducir la capacidad de respuesta de los agricultores frente a perturbaciones económicas.

Frente a estas limitaciones, la agroecología propone prácticas orientadas a conservar y regenerar las funciones del suelo. La incorporación de materia orgánica, los cultivos de cobertura, las rotaciones y la reducción de la perturbación mecánica fueron las estrategias mencionadas con mayor frecuencia en los documentos examinados. La REDAGRES (2018) considera que estas prácticas pueden disminuir la sensibilidad de los sistemas y fortalecer su capacidad para enfrentar condiciones climáticas adversas.

La incorporación de materia orgánica constituye una de las principales estrategias para mejorar la salud del suelo. Los residuos vegetales, el compost, los abonos orgánicos y otros materiales pueden favorecer la formación de agregados, la porosidad y la actividad biológica. Altieri et al. (2015) relacionan estas mejoras con una mayor capacidad para conservar la humedad, suministrar nutrientes y mantener el funcionamiento del agroecosistema durante períodos de estrés.

La materia orgánica también desempeña una función importante en el almacenamiento y la liberación progresiva de nutrientes. Su descomposición permite reincorporar elementos al sistema y favorecer el desarrollo de las plantas sin

dependen exclusivamente de fertilizantes externos. La FAO (2018) destaca que este proceso contribuye al reciclaje de nutrientes y fortalece la sostenibilidad productiva cuando se integra con prácticas apropiadas de manejo.

Los cultivos de cobertura fueron identificados como otra estrategia relevante para proteger la superficie del suelo. Estas especies reducen el impacto directo de las gotas de lluvia, limitan la erosión ocasionada por el viento y disminuyen la exposición a temperaturas elevadas. La REDAGRES (2018) señala que la cobertura permanente puede reducir la vulnerabilidad frente a precipitaciones intensas y favorecer una respuesta más estable ante la variabilidad climática.

Cuando los cultivos de cobertura se incorporan o permanecen sobre la superficie como residuos, también contribuyen a aumentar la biomasa disponible y a conservar la humedad. Sus raíces pueden mejorar la estructura, facilitar la infiltración y recuperar nutrientes localizados en diferentes profundidades. Altieri et al. (2015) explican que estos beneficios dependen de la selección de las especies, el tiempo de permanencia y su integración con el sistema productivo principal.

La reducción de la perturbación mecánica puede favorecer la conservación de los agregados y de los organismos edáficos. El laboreo excesivo rompe la estructura, acelera la descomposición de la materia orgánica y aumenta la susceptibilidad a la erosión. La FAO (2018) recomienda combinar la disminución de la labranza con cobertura vegetal y rotaciones, debido a que su aplicación aislada puede no producir los mismos resultados en todos los tipos de suelo. Las rotaciones contribuyen a diversificar los sistemas radicales y modificar las demandas de nutrientes a lo largo del tiempo. La alternancia de especies puede interrumpir ciclos de plagas y enfermedades, mejorar el aprovechamiento de los recursos y reducir el agotamiento asociado con el cultivo repetido de una sola especie. Altieri et al. (2015) sostienen que estas funciones fortalecen simultáneamente la salud del suelo y la estabilidad del agroecosistema.

Los resultados muestran una relación importante entre la materia orgánica, la estructura y la capacidad de retención de agua. Los suelos con mejores condiciones pueden facilitar la infiltración y almacenar una mayor cantidad de humedad disponible para los cultivos durante los períodos secos. La Universidad de Murcia (2013) relaciona el manejo del suelo con las diferencias observadas en la respuesta de sistemas ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática.

Esta capacidad de almacenamiento resulta especialmente relevante durante las sequías o cuando las precipitaciones presentan una distribución irregular. Un suelo protegido y con mayor contenido de materia orgánica puede reducir la rapidez con la que se pierde la humedad y prolongar su disponibilidad para las raíces. La REDAGRES (2018) considera que esta propiedad disminuye la sensibilidad del agroecosistema frente al estrés hídrico y favorece la continuidad de sus funciones productivas.

La salud del suelo también influye en la respuesta frente a precipitaciones intensas. Una superficie cubierta y con adecuada porosidad facilita la infiltración, reduce la escorrentía y limita la pérdida de partículas y nutrientes. La FAO (2018) señala que la conservación de la estructura permite amortiguar tanto los efectos del déficit hídrico como los daños ocasionados por el exceso de agua.

La diversidad biológica del suelo constituye otro componente esencial de su capacidad de recuperación. Los microorganismos, hongos, lombrices y otros organismos participan en la descomposición de residuos, la formación de agregados y la transformación de nutrientes. Altieri et al. (2015) destacan que estas comunidades sostienen procesos ecológicos indispensables para la fertilidad y pueden facilitar la recuperación del suelo después de una perturbación. Las prácticas que reducen el uso indiscriminado de agroquímicos y mantienen una cobertura orgánica pueden favorecer la conservación de los organismos edáficos. Una comunidad biológica diversa mejora la capacidad del sistema para desarrollar procesos de descomposición y reciclaje bajo condiciones variables. La REDAGRES (2018) vincula esta diversidad con la capacidad del agroecosistema para reorganizarse y mantener sus funciones esenciales. La resiliencia del suelo depende, por tanto, de la interacción entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La mejora aislada de uno de estos componentes puede resultar insuficiente cuando continúan los problemas de compactación, pérdida de materia orgánica o baja actividad biológica. La FAO (2018) plantea que el manejo sostenible requiere estrategias integradas adaptadas al clima, el tipo de suelo y las características del sistema productivo.

En conjunto, la revisión permitió determinar que la salud del suelo constituye uno de los principales mecanismos mediante los cuales las prácticas agroecológicas fortalecen la resiliencia agrícola. Un suelo con mejores condiciones puede amortiguar los efectos de la sequía, reducir la erosión, conservar nutrientes y favorecer la recuperación de los cultivos. Altieri et al. (2015) consideran que esta capacidad convierte al suelo en un componente articulador entre diversificación, manejo del agua, reciclaje de nutrientes y estabilidad productiva.

### **Manejo y conservación del agua en sistemas agrícolas resilientes**

La disponibilidad de agua representa uno de los principales factores que condicionan la producción agrícola y la estabilidad de los agroecosistemas. El incremento de la variabilidad climática ha modificado la distribución de las precipitaciones y aumentado la frecuencia de períodos de sequía o exceso de humedad. La FAO (2018) señala que estas alteraciones obligan a desarrollar prácticas capaces de mejorar el aprovechamiento del agua y reducir la vulnerabilidad de los cultivos frente al estrés hídrico.

La eficiencia hídrica constituye, por tanto, una dimensión fundamental de la resiliencia agrícola. Esta capacidad no depende únicamente del volumen de agua disponible, sino también de la forma en que el sistema consigue captarla, almacenarla, distribuirla y conservarla. La REDAGRES (2018) plantea que la evaluación de la resiliencia debe considerar tanto la exposición a la escasez como las capacidades desarrolladas por los agricultores para responder a ella.

Las prácticas agroecológicas pueden favorecer la infiltración y el almacenamiento del agua mediante el mejoramiento de las propiedades del suelo. Un suelo con adecuada estructura permite que una mayor proporción de las precipitaciones ingrese en el perfil, en lugar de perderse mediante escorrentía superficial. Altieri et al. (2015) destacan que este proceso reduce la erosión y aumenta la cantidad de humedad disponible para los cultivos durante los períodos secos.

El incremento de la materia orgánica constituye una de las principales estrategias para fortalecer la retención de agua. Los residuos vegetales, el compost y otros materiales orgánicos favorecen la formación de agregados y mejoran la porosidad del suelo. La FAO (2018) sostiene que estas condiciones permiten almacenar una mayor cantidad de humedad y disminuyen la sensibilidad de los sistemas agrícolas frente a la irregularidad de las precipitaciones.

La cobertura vegetal también desempeña una función importante en la conservación hídrica. Los cultivos de cobertura, los residuos de cosecha y las especies acompañantes protegen la superficie frente a la radiación directa y reducen la evaporación. Altieri et al. (2015) explican que esta protección contribuye a moderar la temperatura del suelo y prolonga la disponibilidad de agua para las raíces.

Además de conservar la humedad, la cobertura reduce el impacto directo de las gotas de lluvia y disminuye la formación de costras superficiales. De esta manera, favorece la infiltración y limita las pérdidas de suelo ocasionadas por la escorrentía. La REDAGRES (2018) relaciona estas funciones con una menor vulnerabilidad frente a lluvias intensas y con una mayor capacidad de recuperación después de eventos climáticos extremos.

Los sistemas diversificados pueden utilizar los recursos hídricos de manera más eficiente cuando combinan especies con diferentes características radicales y ciclos de crecimiento. Algunas plantas aprovechan la humedad de las capas superficiales, mientras que otras exploran zonas más profundas del suelo. La FAO (2018) reconoce que esta complementariedad puede reducir la competencia y favorecer una distribución más equilibrada del agua disponible. Sin embargo, la diversificación no garantiza automáticamente una mayor eficiencia hídrica. Una combinación inadecuada de especies puede aumentar la competencia y generar una demanda superior a la capacidad del territorio. Altieri et al. (2015) indican que el diseño debe considerar la profundidad de las raíces, las etapas de mayor consumo, la densidad de siembra y la disponibilidad estacional del recurso.

La agroforestería presenta posibilidades importantes para mejorar la regulación del agua dentro de los sistemas agrícolas. Los árboles pueden proporcionar sombra, disminuir la velocidad del viento y moderar las temperaturas del suelo y del aire. Estas modificaciones microclimáticas reducen determinadas pérdidas por evaporación y pueden proteger los cultivos frente a períodos de calor intenso (Altieri et al., 2015).

Los sistemas radiculares de los árboles también pueden mejorar la estructura del suelo y facilitar la infiltración en capas profundas. La biomasa producida aporta materia orgánica y protege la superficie cuando permanece como hojarasca. La FAO (2018) señala que estos procesos pueden favorecer la regulación hídrica y disminuir la erosión en sistemas agroforestales correctamente diseñados.

No obstante, la integración de árboles y cultivos debe considerar las posibles competencias por agua, luz y nutrientes. Las especies seleccionadas, la densidad, la distancia de siembra y las prácticas de poda influyen sobre el resultado del sistema. La REDAGRES (2018) sostiene que las estrategias agroecológicas deben adaptarse a las amenazas y recursos de cada territorio, evitando aplicar modelos uniformes en contextos ambientales diferentes.

La captación y el almacenamiento de agua constituyen otras estrategias relevantes para enfrentar la irregularidad de las precipitaciones. Los reservorios, zanjas de infiltración, terrazas, canales y sistemas de recolección de lluvia pueden permitir que una parte del agua disponible durante los períodos húmedos sea utilizada posteriormente. La FAO (2018) destaca que estas infraestructuras deben integrarse con prácticas de conservación del suelo para evitar pérdidas y sedimentación.

La selección de las estructuras debe responder a la pendiente, el tipo de suelo, la intensidad de las lluvias y las necesidades de los cultivos. Una obra que resulte adecuada en un territorio puede generar problemas de erosión o encharcamiento en otro contexto. Altieri et al. (2015) señalan que el conocimiento local resulta indispensable para diseñar estrategias de captación compatibles con las condiciones biofísicas y productivas.

La eficiencia del riego también constituye un componente importante de la resiliencia hídrica. La aplicación localizada, la programación según las necesidades de los cultivos y el mantenimiento de los equipos pueden reducir las pérdidas durante la distribución. La FAO (2018) considera que la utilización eficiente del agua permite sostener la producción y disminuir la presión sobre fuentes superficiales y subterráneas.

Las tecnologías de riego pueden mejorar la gestión del recurso, pero sus beneficios dependen de las condiciones del suelo y de las prácticas agronómicas. Un sistema eficiente de aplicación no compensará completamente la degradación, la compactación o la ausencia de cobertura. La REDAGRES (2018) plantea que la capacidad de respuesta surge de la combinación entre infraestructura, prácticas ecológicas y conocimientos disponibles en las unidades productivas.

Los resultados de la revisión muestran que la resiliencia hídrica no puede evaluarse exclusivamente mediante la cantidad de agua utilizada. También deben considerarse la productividad obtenida, la conservación de las fuentes, la capacidad de almacenamiento y la estabilidad del sistema durante los períodos críticos. Altieri et al. (2015) destacan que una gestión resiliente busca mantener las funciones productivas sin agotar los recursos necesarios para el futuro. La conservación del agua se encuentra estrechamente relacionada con el manejo del suelo. La materia orgánica, la cobertura, la estructura y la actividad biológica determinan la capacidad para infiltrar y conservar la humedad. La FAO (2018) sostiene que estas interacciones justifican la aplicación de estrategias integradas, en lugar de abordar por separado los problemas hídricos y la degradación edáfica.

En conjunto, la evidencia examinada indica que la resiliencia hídrica depende de la combinación entre prácticas agroecológicas, infraestructura adaptada y capacidades locales de gestión. El mejoramiento del suelo, la cobertura vegetal, la diversificación, la agroforestería y la captación de agua pueden actuar de manera complementaria. La REDAGRES (2018) reconoce que esta articulación permite disminuir la sensibilidad frente a las sequías y fortalecer la capacidad de recuperación después de perturbaciones climáticas.

### **Reciclaje de nutrientes y reducción de la dependencia de insumos externos**

El reciclaje de nutrientes fue identificado como uno de los principios fundamentales de la agroecología y como un mecanismo relevante para fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas. Este proceso busca mantener los recursos dentro de las unidades productivas y reincorporar al suelo los nutrientes contenidos en residuos vegetales, estiércol y otros materiales orgánicos. La FAO (2018) destaca que el aprovechamiento eficiente de estos recursos puede disminuir las pérdidas y favorecer sistemas con una menor dependencia de insumos externos.

Los sistemas agrícolas convencionales pueden presentar una elevada dependencia de fertilizantes sintéticos y productos adquiridos fuera de la explotación. Esta situación genera vulnerabilidades cuando aumentan los precios, se interrumpen las cadenas de suministro o disminuye la capacidad económica de los productores. Altieri et al. (2015) sostienen que los sistemas altamente dependientes de insumos externos poseen menores posibilidades de mantener sus actividades frente a perturbaciones económicas prolongadas.

La dependencia externa también puede limitar la capacidad de decisión de los agricultores, debido a que la continuidad de la producción queda condicionada por la disponibilidad de recursos comerciales. Cuando los costos aumentan, los productores pueden reducir la aplicación de fertilizantes y afectar los rendimientos esperados. La REDAGRES (2018) considera que la disponibilidad de recursos propios constituye un componente de la capacidad de respuesta frente a perturbaciones climáticas, productivas y económicas.

Los sistemas agroecológicos buscan aprovechar los materiales generados dentro de las explotaciones. Los residuos de cosecha pueden conservarse sobre el suelo, incorporarse mediante compostaje o utilizarse como insumos en otros componentes productivos. La FAO (2018) señala que estas prácticas permiten recuperar una parte de los nutrientes extraídos durante la producción y disminuyen las pérdidas ocasionadas por la quema o eliminación inadecuada de los residuos.

La reincorporación de residuos vegetales también puede mejorar la estructura del suelo, aumentar el contenido de materia orgánica y favorecer la actividad biológica. Estos efectos contribuyen a la disponibilidad progresiva de nutrientes y fortalecen la capacidad para conservar agua. Altieri et al. (2015) explican que el reciclaje no debe entenderse únicamente como una estrategia de fertilización, sino como un proceso relacionado con el funcionamiento integral del agroecosistema.

El compostaje constituye una alternativa para transformar residuos orgánicos en materiales más estables y apropiados para su incorporación al suelo. Mediante este proceso se reduce el volumen de los residuos, se facilita su manejo y se obtiene un producto con nutrientes y materia orgánica. La FAO (2018) reconoce que su utilización puede contribuir a la fertilidad cuando se controla adecuadamente la calidad de los materiales y el proceso de descomposición.

La integración entre cultivos y animales fortalece el reciclaje al establecer relaciones funcionales entre diferentes componentes productivos. Los residuos vegetales pueden utilizarse como alimento o material de cama, mientras que el estiércol puede reincorporarse al suelo después de un tratamiento apropiado. Altieri et al. (2015) destacan que esta integración permite cerrar parcialmente los ciclos de nutrientes y reducir la necesidad de adquirir fertilizantes.

El aprovechamiento de los residuos pecuarios requiere un manejo cuidadoso para evitar contaminación, pérdidas de nutrientes y riesgos sanitarios. La cantidad aplicada debe corresponder con las necesidades de los cultivos y con la capacidad del suelo para retener los nutrientes. La FAO (2018) advierte que una utilización excesiva o inadecuada puede ocasionar lixiviación, contaminación del agua y emisiones, por lo que el reciclaje debe sustentarse en criterios técnicos.

Las leguminosas desempeñan una función importante debido a su asociación con microorganismos capaces de realizar la fijación biológica de nitrógeno. Su incorporación en asociaciones, rotaciones o cultivos de cobertura puede mejorar la disponibilidad de este nutriente y reducir parcialmente la dependencia de fertilizantes nitrogenados. Altieri et al. (2015) consideran que esta función representa un ejemplo de cómo la biodiversidad puede sustituir determinados insumos mediante procesos ecológicos.

Las rotaciones permiten alternar especies con diferentes necesidades y capacidades para utilizar los nutrientes. La inclusión de cultivos con sistemas radiculares profundos puede recuperar elementos localizados en capas inferiores, mientras que otras especies aportan biomasa o facilitan la fijación de nitrógeno. La FAO (2018) relaciona esta alternancia con una utilización más equilibrada de la fertilidad y una menor presión sobre reservas específicas del suelo.

La diversidad de cultivos también puede reducir las pérdidas mediante la ocupación más permanente del terreno. Cuando existen raíces activas durante diferentes períodos, una mayor proporción de los nutrientes puede ser

absorbida antes de perderse por lixiviación o erosión. La REDAGRES (2018) vincula la conservación de estos recursos con una menor sensibilidad y una mayor capacidad para mantener la producción frente a condiciones adversas.

El reciclaje contribuye a fortalecer la resiliencia económica al disminuir la proporción de recursos que deben adquirirse fuera de la explotación. Los agricultores con mayor capacidad para producir abonos, conservar residuos y aprovechar procesos biológicos presentan mejores condiciones para enfrentar aumentos en los precios. Altieri et al. (2015) relacionan esta autonomía con una mayor flexibilidad para adaptar las prácticas productivas durante períodos de crisis. Sin embargo, la reducción de la dependencia externa no implica eliminar completamente todos los insumos comerciales. La transición debe considerar las condiciones del suelo, las necesidades de los cultivos, la disponibilidad de biomasa y las capacidades técnicas de los productores. La FAO (2018) plantea que la sustitución debe desarrollarse gradualmente y apoyarse en información que permita mantener la productividad sin generar deficiencias nutricionales.

Los resultados de la revisión muestran que el reciclaje también se encuentra vinculado con la resiliencia ecológica. La incorporación de materia orgánica favorece la actividad biológica, la formación de agregados y la retención de agua, mientras que las rotaciones y leguminosas aumentan la diversidad funcional. La REDAGRES (2018) destaca que estos mecanismos pueden contribuir a la recuperación del sistema después de sequías, lluvias intensas u otras perturbaciones.

A pesar de su relevancia, la dimensión económica del reciclaje recibió menos atención que sus efectos sobre la fertilidad y la salud del suelo. La mayoría de los documentos describieron beneficios ecológicos, pero fueron menos frecuentes los análisis sobre costos, requerimientos de trabajo, rentabilidad y reducción efectiva de gastos. Este resultado evidencia la necesidad de evaluar el reciclaje desde una perspectiva que integre los componentes productivos, ambientales y económicos.

También se identificó una limitada cantidad de investigaciones longitudinales capaces de establecer si la reducción de insumos externos se mantiene durante períodos prolongados. La resiliencia económica requiere comprobar que las prácticas pueden sostener la productividad y la disponibilidad de nutrientes a través del tiempo. Altieri et al. (2015) señalan que las transformaciones agroecológicas deben valorarse como procesos graduales y no únicamente mediante resultados observados en ciclos productivos aislados.

En conjunto, la evidencia examinada muestra que el reciclaje de nutrientes fortalece la resiliencia al conservar recursos, reducir pérdidas y disminuir determinadas dependencias económicas. Su aplicación requiere combinar residuos orgánicos, rotaciones, leguminosas e integración productiva según las condiciones de cada explotación. La FAO (2018) reconoce que esta articulación permite avanzar hacia sistemas más eficientes en el uso de los recursos y con mayor capacidad para responder frente a perturbaciones externas.

Principio del formulario

### **Regulación biológica de plagas y enfermedades**

La regulación biológica fue identificada como uno de los principales servicios ecológicos proporcionados por los agroecosistemas diversificados. Este proceso se desarrolla mediante las interacciones entre cultivos, organismos benéficos, vegetación acompañante y condiciones ambientales. Altieri et al. (2015) señalan que el fortalecimiento de estas relaciones puede limitar el crecimiento de determinadas poblaciones perjudiciales y reducir la vulnerabilidad de la producción frente a problemas fitosanitarios.

Los sistemas agrícolas simplificados pueden generar condiciones favorables para la expansión de plagas y enfermedades debido a la disponibilidad continua de plantas hospedantes y a la escasa diversidad de hábitats. La uniformidad genética también puede facilitar que un organismo afecte simultáneamente una proporción considerable del cultivo. La FAO (2018) advierte que esta homogeneidad incrementa los riesgos productivos y puede elevar la dependencia de productos fitosanitarios.

La disminución de enemigos naturales constituye otra consecuencia asociada con la simplificación de los agroecosistemas. Cuando se eliminan cercas vivas, franjas de vegetación y plantas acompañantes, los depredadores y

parasitoides pierden refugios, fuentes de alimento y espacios para reproducirse. Altieri et al. (2015) explican que la pérdida de estos organismos debilita la regulación natural y facilita el crecimiento descontrolado de determinadas plagas.

La aplicación intensiva de productos fitosanitarios puede generar efectos adicionales sobre los organismos benéficos y las relaciones ecológicas del sistema. Aunque estos productos permiten controlar temporalmente determinadas poblaciones, su utilización inadecuada puede afectar especies que participan en la regulación biológica. La FAO (2018) reconoce la necesidad de integrar diferentes medidas de manejo para reducir riesgos ambientales y evitar una dependencia exclusiva de soluciones químicas.

La agroecología busca fortalecer los mecanismos naturales de regulación mediante el diseño de sistemas diversificados. Las asociaciones, rotaciones, policultivos, cultivos de cobertura y sistemas agroforestales pueden modificar las condiciones de alimentación, desplazamiento y reproducción de los organismos. La REDAGRES (2018) relaciona esta diversidad con una mayor capacidad para amortiguar los efectos de perturbaciones biológicas dentro de los sistemas agrícolas.

Las asociaciones de cultivos pueden reducir la concentración de plantas hospedantes y dificultar la localización de los cultivos por parte de algunas plagas. La combinación de especies también puede generar barreras físicas, señales químicas diferentes y cambios microclimáticos que alteren el comportamiento de los organismos. Altieri et al. (2015) indican que estos efectos dependen de las especies seleccionadas, su distribución y las características particulares de cada plaga.

Las rotaciones contribuyen a interrumpir los ciclos de organismos asociados con un cultivo determinado. Cuando las especies hospedantes no permanecen continuamente en el terreno, disminuyen las posibilidades de que determinadas poblaciones se acumulen entre ciclos productivos. La FAO (2018) destaca que la alternancia también puede reducir la presencia de patógenos y malezas cuando se combina con otras prácticas de manejo.

Las franjas de vegetación, cercas vivas y áreas seminaturales proporcionan refugio y recursos para depredadores, parasitoides y polinizadores. Estas estructuras favorecen la permanencia de organismos benéficos dentro de los paisajes agrícolas y facilitan su desplazamiento hacia las áreas cultivadas. Altieri et al. (2015) sostienen que la conectividad entre los cultivos y la vegetación circundante constituye un componente importante de la regulación biológica.

La biodiversidad funcional desempeña una función central porque no todas las especies presentes contribuyen de la misma manera al control de plagas. El diseño debe favorecer organismos capaces de intervenir en procesos relevantes para los cultivos y las amenazas del territorio. La REDAGRES (2018) plantea que las estrategias deben responder a las vulnerabilidades específicas del sistema y a la disponibilidad local de recursos biológicos.

La regulación biológica también puede generar redundancia funcional cuando diferentes enemigos naturales actúan sobre una misma plaga o sobre distintas etapas de su ciclo. Si una especie disminuye debido a una perturbación, otras pueden mantener parcialmente la función de control. Altieri et al. (2015) relacionan esta capacidad de sustitución con una mayor estabilidad ecológica y una menor dependencia de organismos individuales.

La resiliencia frente a problemas fitosanitarios depende de la capacidad del agroecosistema para conservar niveles de regulación que eviten daños productivos severos. Esto no significa eliminar completamente las plagas, sino mantenerlas por debajo de niveles capaces de comprometer la producción. La FAO (2018) sostiene que el manejo sostenible debe combinar prevención, monitoreo y medidas de intervención adaptadas a la intensidad del problema. Los sistemas con mayores interacciones ecológicas pueden presentar mejores condiciones para responder frente a la aparición de plagas o enfermedades. No obstante, la diversidad por sí sola no garantiza resultados positivos, debido a que algunas plantas pueden actuar como hospedantes alternativos o aumentar la humedad favorable para patógenos. Altieri et al. (2015) advierten que el diseño debe sustentarse en conocimientos sobre las relaciones entre especies y las condiciones ambientales.

El monitoreo constituye un componente indispensable de la regulación biológica. La observación periódica permite reconocer cambios en las poblaciones, identificar organismos benéficos y determinar si las medidas aplicadas están

produciendo los resultados esperados. La REDAGRES (2018) reconoce que la capacidad para detectar oportunamente una amenaza forma parte de los recursos necesarios para responder y reducir los daños.

Los conocimientos de los agricultores pueden contribuir a identificar ciclos, señales y condiciones relacionadas con la presencia de plagas y enfermedades. La experiencia acumulada permite reconocer variaciones en el comportamiento de los organismos y seleccionar prácticas adaptadas a cada territorio. Altieri et al. (2015) destacan que el manejo agroecológico requiere combinar la observación local con conocimientos científicos sobre ecología y producción.

La regulación biológica presenta una relación directa con la reducción de insumos externos. Cuando los mecanismos ecológicos disminuyen la incidencia de plagas, puede reducirse la frecuencia o intensidad de las aplicaciones fitosanitarias. La FAO (2018) relaciona esta reducción con menores costos de producción, menos riesgos para la salud y una disminución de los impactos sobre el suelo, el agua y los organismos no objetivo.

Sin embargo, el establecimiento de estos mecanismos puede requerir tiempo y modificaciones progresivas en el manejo. La recuperación de poblaciones benéficas y la creación de hábitats no producen necesariamente resultados inmediatos. La REDAGRES (2018) considera que la resiliencia debe analizarse como una capacidad que se construye y transforma mediante procesos continuos de aprendizaje y adaptación.

Los resultados muestran que la efectividad de la regulación biológica depende del cultivo, la plaga, las especies benéficas, el paisaje y las prácticas implementadas. Esta variabilidad impide aplicar una estrategia uniforme a todos los sistemas agrícolas. Altieri et al. (2015) señalan que las intervenciones deben adaptarse a las relaciones ecológicas y a las condiciones productivas de cada territorio.

En conjunto, la regulación biológica contribuye a la resiliencia ecológica al fortalecer los procesos naturales de control, a la resiliencia productiva al disminuir el riesgo de pérdidas y a la resiliencia económica al reducir determinadas necesidades de insumos. La FAO (2018) reconoce que estos beneficios se alcanzan con mayor consistencia cuando la diversificación, el monitoreo, el conocimiento local y el manejo preventivo se integran dentro de una estrategia agroecológica.

Principio del formulario

Final del formulario

### **Agroforestería y creación de microclimas resilientes**

La agroforestería fue identificada como una de las estrategias agroecológicas con mayor potencial para fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas. Estos sistemas integran árboles o arbustos con cultivos y, en determinados casos, con actividades pecuarias dentro de una misma unidad productiva. La FAO (2018) reconoce que esta integración permite combinar funciones productivas y ambientales, ampliando las posibilidades de respuesta frente a perturbaciones climáticas.

La diversidad estructural constituye una de las principales características de los sistemas agroforestales. La presencia de diferentes estratos vegetales permite aprovechar de manera diferenciada la luz, el agua y los nutrientes disponibles. Altieri et al. (2015) señalan que esta organización puede mejorar la eficiencia en el uso de los recursos cuando las especies se seleccionan de acuerdo con sus características funcionales y las condiciones del territorio.

Los árboles pueden proporcionar sombra y modificar las condiciones microclimáticas dentro de las áreas productivas. La reducción de la radiación directa y de la temperatura puede disminuir el estrés térmico sobre determinados cultivos y animales. La REDAGRES (2018) relaciona la regulación microclimática con una menor sensibilidad de los sistemas frente a olas de calor y otros eventos asociados con el cambio climático.

La cobertura arbórea también puede disminuir la velocidad del viento y limitar la pérdida de humedad por evaporación. Este efecto resulta particularmente relevante en zonas secas o durante períodos con temperaturas elevadas. La FAO (2018) destaca que las barreras vivas y los componentes arbóreos pueden proteger los cultivos, conservar la humedad y reducir determinados procesos de erosión eólica.

La hojarasca y otros residuos producidos por los árboles aportan biomasa a la superficie del suelo. Su descomposición favorece la incorporación de materia orgánica, protege frente al impacto de la lluvia y contribuye al reciclaje de

nutrientes. Altieri et al. (2015) consideran que estos aportes fortalecen la salud del suelo y mejoran su capacidad para mantener funciones productivas bajo condiciones ambientales adversas.

Los sistemas radiculares de los árboles también pueden influir sobre las propiedades físicas del suelo. Las raíces profundas crean canales, favorecen la infiltración y pueden recuperar nutrientes localizados en capas que no son alcanzadas por cultivos de raíces superficiales. La FAO (2018) señala que estos procesos pueden disminuir la escorrentía y mejorar la utilización de recursos cuando existe complementariedad entre los componentes.

La agroforestería contribuye igualmente a la regulación hídrica. La combinación de cobertura permanente, raíces en diferentes profundidades y aportes de materia orgánica puede mejorar la infiltración y el almacenamiento de agua. La REDAGRES (2018) reconoce que estas características fortalecen la capacidad de respuesta frente a sequías y precipitaciones intensas, aunque sus resultados dependen del diseño y del contexto climático.

La presencia de árboles no garantiza automáticamente una mejor disponibilidad hídrica. En territorios con recursos limitados, determinadas especies pueden competir con los cultivos por agua y nutrientes. Altieri et al. (2015) advierten que la densidad, la distancia de siembra, la arquitectura de las raíces y las prácticas de poda deben planificarse para evitar que la competencia supere los beneficios obtenidos.

La selección de especies constituye, por tanto, una decisión fundamental dentro del diseño agroforestal. Los árboles deben adaptarse al clima, al suelo y a las necesidades productivas de la explotación. La FAO (2018) sostiene que también deben considerarse su velocidad de crecimiento, la producción de biomasa, el consumo de agua y las posibles interacciones con los cultivos o animales.

La agroforestería permite diversificar la producción mediante la obtención de frutas, madera, forraje, leña, semillas, fibras y otros productos. Esta variedad reduce la dependencia de una única actividad y genera diferentes alternativas para el autoconsumo y la comercialización. Altieri et al. (2015) relacionan la diversificación de productos con una mayor estabilidad económica frente a variaciones climáticas y de mercado.

Cuando una perturbación afecta un cultivo anual, los componentes arbóreos pueden mantener parte de los ingresos o recursos disponibles para la familia productora. Del mismo modo, los productos de ciclo corto pueden proporcionar beneficios mientras los árboles alcanzan su etapa productiva. La REDAGRES (2018) considera que esta distribución temporal y productiva de los riesgos constituye un mecanismo relevante de resiliencia.

Los sistemas agroforestales también favorecen la biodiversidad al proporcionar refugios, fuentes de alimento y espacios de reproducción para diferentes organismos. Los distintos estratos pueden albergar polinizadores, aves, depredadores y microorganismos asociados con procesos ecológicos esenciales. La FAO (2018) reconoce que esta diversidad puede fortalecer la regulación biológica y mejorar la conectividad dentro de los paisajes agrícolas.

La conectividad generada por cercas vivas, corredores arbóreos y fragmentos de vegetación facilita el desplazamiento de organismos entre las áreas naturales y productivas. Esta característica contribuye a mantener poblaciones benéficas y favorece la recuperación después de determinadas perturbaciones. Altieri et al. (2015) destacan que la estructura del paisaje resulta tan importante como la diversidad presente dentro de cada unidad agrícola.

La integración de árboles también puede favorecer la captura y el almacenamiento de carbono en la biomasa y el suelo. Esta función contribuye a reducir la concentración neta de dióxido de carbono y puede complementar las estrategias de adaptación con acciones de mitigación. La FAO (2018) destaca que los sistemas agroforestales ofrecen oportunidades para articular la producción agrícola con objetivos ambientales y climáticos.

Sin embargo, el establecimiento de estos sistemas requiere conocimientos específicos, inversión inicial y períodos de espera antes de obtener determinados productos. La selección inadecuada de especies o la ausencia de mantenimiento puede ocasionar competencia excesiva, sombreado o dificultades para realizar las labores agrícolas. La REDAGRES (2018) plantea que las estrategias deben evaluarse según los recursos, capacidades y necesidades de los productores.

El conocimiento local desempeña una función importante en la identificación de especies adaptadas y en la comprensión de sus interacciones con los cultivos. Los agricultores pueden aportar información sobre crecimiento,

tolerancia, usos y respuesta frente a condiciones climáticas locales. Altieri et al. (2015) sostienen que la combinación entre experiencia territorial y conocimiento científico favorece diseños agroforestales más apropiados.

Los resultados de la revisión muestran que la agroforestería articula varios principios agroecológicos. En una misma estrategia pueden desarrollarse diversificación productiva, conservación del suelo, regulación hídrica, reciclaje de nutrientes y fortalecimiento de la biodiversidad. La FAO (2018) reconoce que esta multifuncionalidad permite responder simultáneamente a diferentes fuentes de vulnerabilidad.

En conjunto, la evidencia analizada indica que la agroforestería puede fortalecer la resiliencia ecológica, productiva y económica de los sistemas agrícolas. Sus beneficios dependen de un diseño que aproveche las complementariedades y controle las posibles competencias entre árboles, cultivos y animales. Altieri et al. (2015) consideran que esta integración convierte a los sistemas agroforestales en una alternativa relevante para la adaptación de la agricultura frente al cambio climático.

Principio del formulario

Final del formulario

### **Integración de cultivos y animales como estrategia de resiliencia**

La integración entre la producción vegetal y animal fue identificada como uno de los principios agroecológicos relacionados con el fortalecimiento de la resiliencia. Estos sistemas establecen relaciones funcionales entre diferentes componentes productivos y favorecen el aprovechamiento de los recursos disponibles dentro de la explotación. La FAO (2018) reconoce que esta articulación puede mejorar la eficiencia, diversificar la producción y reducir determinadas dependencias externas.

En los sistemas integrados, los residuos generados por una actividad pueden convertirse en recursos para otro componente. Los restos vegetales pueden utilizarse como alimento animal, material de cama o fuente de biomasa, mientras que los residuos pecuarios pueden procesarse e incorporarse al suelo. Altieri et al. (2015) señalan que estas relaciones permiten cerrar parcialmente los ciclos de nutrientes y disminuir las pérdidas del agroecosistema.

El aprovechamiento de residuos vegetales para la alimentación animal puede reducir la necesidad de adquirir determinados alimentos externos. Sin embargo, su utilización debe considerar la calidad nutricional, la disponibilidad estacional y los posibles riesgos para la salud de los animales. La FAO (2018) destaca que la integración debe organizarse de acuerdo con los requerimientos de cada especie y la capacidad productiva de la explotación.

Los residuos pecuarios pueden aportar nutrientes y materia orgánica cuando se manejan adecuadamente. Su compostaje o tratamiento previo permite obtener materiales más estables para su aplicación en los cultivos. Altieri et al. (2015) relacionan esta reincorporación con el mejoramiento de la estructura del suelo, el aumento de la actividad biológica y la reducción parcial de fertilizantes externos.

La utilización inadecuada del estiércol puede ocasionar contaminación del agua, pérdida de nutrientes, emisiones y riesgos sanitarios. Por esta razón, las cantidades aplicadas deben corresponder con las necesidades de los cultivos y con la capacidad del suelo para retener los nutrientes. La FAO (2018) señala que el manejo debe contemplar el almacenamiento, tratamiento, transporte y momento de aplicación de los materiales orgánicos.

El reciclaje interno de recursos puede disminuir determinados costos y fortalecer la autonomía productiva. Cuando los agricultores aprovechan residuos vegetales y animales, reducen la cantidad de insumos que necesitan adquirir en los mercados. La REDAGRES (2018) vincula esta disponibilidad de recursos propios con una mayor capacidad para responder frente a fluctuaciones de precios e interrupciones en las cadenas de suministro.

La integración también contribuye a diversificar las fuentes de alimentos, productos e ingresos. Los agricultores que combinan cultivos y animales pueden obtener granos, frutas, hortalizas, carne, leche, huevos y otros bienes a lo largo del año. Altieri et al. (2015) sostienen que esta diversidad disminuye la dependencia de una única actividad y distribuye los riesgos productivos y económicos.

Cuando una perturbación afecta un componente específico, los demás pueden proporcionar mecanismos de compensación. Por ejemplo, una disminución en el rendimiento de los cultivos puede ser parcialmente compensada mediante la producción pecuaria, siempre que esta no dependa completamente de los recursos afectados. La FAO

(2018) considera que esta complementariedad mejora la estabilidad de los medios de vida rurales frente a condiciones variables.

La distribución temporal de las actividades también puede contribuir a la resiliencia económica. Los productos agrícolas y pecuarios presentan ciclos de obtención y comercialización diferentes, lo que permite generar alimentos o ingresos en distintos momentos. La REDAGRES (2018) relaciona esta diversidad temporal con una mayor capacidad para afrontar períodos críticos y recuperarse después de eventos adversos.

La integración de cultivos y animales puede favorecer el aprovechamiento de espacios que no resultan apropiados para una producción exclusivamente agrícola. Determinadas áreas pueden utilizarse para pastoreo controlado o producción de forraje, mientras que otras se destinan a cultivos. Altieri et al. (2015) señalan que esta organización puede mejorar la eficiencia territorial cuando se respetan las limitaciones ecológicas y la capacidad de carga.

El pastoreo planificado puede contribuir al control de la vegetación y al reciclaje de nutrientes, pero requiere un manejo apropiado. Una carga animal excesiva o la permanencia prolongada en una misma superficie puede provocar compactación, pérdida de cobertura y erosión. La FAO (2018) advierte que los beneficios dependen del número de animales, el tiempo de ocupación, la disponibilidad de forraje y los períodos de recuperación del terreno.

La capacidad de carga debe definirse según la productividad de los pastizales, la disponibilidad de agua y las condiciones climáticas. Durante las sequías, la cantidad de forraje puede disminuir y generar una presión superior a la capacidad de recuperación del sistema. La REDAGRES (2018) considera que la adaptación del manejo a las condiciones cambiantes constituye una expresión concreta de resiliencia.

Los sistemas silvopastoriles representan una modalidad de integración en la que árboles, pasturas y animales se manejan dentro de una misma superficie. Los árboles pueden proporcionar sombra, forraje, biomasa y protección frente al viento, mientras que los animales contribuyen al reciclaje de nutrientes. Altieri et al. (2015) destacan que esta configuración puede mejorar el bienestar animal y diversificar las funciones productivas y ecológicas.

No obstante, los sistemas silvopastoriles requieren una selección adecuada de las especies arbóreas y forrajeras. Algunas plantas pueden presentar toxicidad, baja palatabilidad o una competencia excesiva por agua y nutrientes. La FAO (2018) señala que el diseño debe considerar las necesidades de los animales, la adaptación de las especies y las características del suelo y del clima.

La integración productiva también puede disminuir la acumulación de residuos cuando los flujos de materiales se encuentran correctamente organizados. Los subproductos de los cultivos pueden ser utilizados por los animales y los residuos pecuarios reincorporados al suelo, generando procesos cercanos a la economía circular. Altieri et al. (2015) explican que este funcionamiento fortalece la eficiencia y reduce las pérdidas de recursos valiosos.

Sin embargo, la integración no debe interpretarse como la simple presencia simultánea de cultivos y animales. Para producir beneficios, deben existir relaciones planificadas entre los componentes, mecanismos de manejo y una distribución adecuada de los recursos. La REDAGRES (2018) sostiene que la resiliencia depende de la capacidad del sistema para organizar sus elementos y responder de forma coordinada frente a las perturbaciones.

La complejidad de los sistemas integrados exige conocimientos sobre producción vegetal, nutrición animal, manejo del suelo, sanidad y administración. La ausencia de capacidades técnicas puede generar desequilibrios, problemas sanitarios o una utilización ineficiente de los recursos. La FAO (2018) reconoce que los servicios de extensión y los procesos de capacitación son necesarios para apoyar la adopción sostenible de estas estrategias.

Los resultados de la revisión muestran que la integración ofrece posibilidades para desarrollar sistemas productivos circulares, diversificados y con mayor autonomía. No obstante, sus efectos dependen del diseño, la escala, los recursos disponibles y las capacidades de los agricultores. Altieri et al. (2015) destacan que las prácticas deben adaptarse a las condiciones ecológicas, productivas y socioeconómicas de cada territorio.

En conjunto, la combinación entre cultivos y animales puede contribuir simultáneamente al reciclaje de nutrientes, la diversificación productiva, la estabilidad económica y la capacidad adaptativa. La FAO (2018) considera que estas relaciones permiten utilizar los recursos con mayor eficiencia y fortalecer los medios de vida rurales. Su contribución

a la resiliencia dependerá de que la integración mantenga un equilibrio entre productividad, capacidad de carga y conservación de los recursos naturales.

Principio del formulario

Final del formulario

### **Reducción de la dependencia de insumos externos y autonomía productiva**

La dependencia de fertilizantes, productos fitosanitarios, semillas comerciales, combustibles y otros insumos externos constituye una fuente importante de vulnerabilidad para numerosos sistemas agrícolas. Las variaciones de precios, las interrupciones en las cadenas de suministro y las dificultades económicas pueden afectar la capacidad de los productores para mantener sus actividades. Altieri et al. (2015) señalan que los sistemas altamente dependientes presentan una menor autonomía para responder frente a perturbaciones económicas y comerciales.

La adquisición constante de insumos también puede incrementar los costos de producción y reducir los márgenes obtenidos por los agricultores. Este riesgo resulta particularmente relevante para las unidades familiares con acceso limitado al crédito o con escasa capacidad de negociación. La FAO (2018) reconoce que la dependencia de recursos externos puede aumentar la exposición de los sistemas agrícolas a las variaciones de los mercados y comprometer la estabilidad de los medios de vida rurales.

La agroecología propone reducir progresivamente esta dependencia mediante la utilización de recursos locales y el fortalecimiento de procesos ecológicos. El reciclaje de nutrientes, la conservación de semillas, la regulación biológica y el aprovechamiento eficiente de la biomasa constituyen algunas de las estrategias identificadas. Altieri et al. (2015) sostienen que estos procesos permiten reemplazar parcialmente determinados insumos y aumentar la capacidad de gestión de los productores.

El reciclaje de residuos vegetales y pecuarios puede disminuir la necesidad de adquirir fertilizantes cuando se desarrolla de manera planificada. La reincorporación de materia orgánica contribuye a mantener la fertilidad, mejorar la estructura y favorecer la actividad biológica del suelo. La FAO (2018) destaca que este proceso debe complementarse con rotaciones y diversidad de cultivos para mantener una adecuada disponibilidad de nutrientes.

La fijación biológica de nitrógeno representa otro mecanismo para reducir parcialmente el uso de fertilizantes sintéticos. La incorporación de leguminosas en asociaciones, rotaciones o cultivos de cobertura puede aumentar la disponibilidad de este nutriente. Altieri et al. (2015) consideran que esta práctica demuestra la manera en que la biodiversidad funcional puede contribuir a la autonomía productiva mediante procesos ecológicos.

La conservación e intercambio de semillas permiten disminuir la dependencia de materiales adquiridos en cada ciclo productivo. Los agricultores pueden seleccionar variedades adaptadas a las características del territorio y conservar materiales que respondan a sus necesidades alimentarias y productivas. La REDAGRES (2018) vincula la disponibilidad de diversidad genética local con una mayor capacidad de respuesta frente a condiciones climáticas variables.

Las redes comunitarias de semillas también facilitan el acceso a materiales cuando una familia pierde sus reservas como consecuencia de una perturbación. El intercambio entre productores permite conservar variedades y distribuir los riesgos asociados con su desaparición. La FAO (2017) destaca que las redes sociales y comunitarias pueden fortalecer las capacidades de recuperación al facilitar el intercambio de conocimientos y recursos.

La regulación biológica contribuye a reducir la dependencia de productos fitosanitarios cuando el agroecosistema conserva organismos capaces de limitar las poblaciones perjudiciales. Las asociaciones de cultivos, las cercas vivas y las franjas de vegetación pueden proporcionar recursos para enemigos naturales. Altieri et al. (2015) señalan que esta sustitución requiere conocimiento y monitoreo, debido a que sus resultados dependen de las interacciones específicas entre especies.

La utilización de recursos locales puede fortalecer la autonomía productiva al ampliar la capacidad de los agricultores para tomar decisiones sobre sus sistemas. Cuando los productores gestionan semillas, fertilidad y mecanismos de regulación, disminuye la influencia de factores comerciales externos sobre la continuidad de sus actividades. La

REDAGRES (2018) considera que esta capacidad de decisión forma parte de los recursos disponibles para responder y adaptarse frente a las perturbaciones.

La autonomía no implica aislamiento ni eliminación completa de los intercambios con los mercados. Los sistemas agrícolas necesitan acceder a herramientas, conocimientos, tecnologías y recursos que no siempre pueden producirse localmente. La FAO (2018) plantea que el propósito consiste en reducir las dependencias que generan vulnerabilidad y mejorar la capacidad para seleccionar los insumos realmente necesarios.

La reducción de insumos externos debe desarrollarse de manera gradual y adaptada a las características del sistema. Una sustitución rápida sin conocer la fertilidad del suelo, la incidencia de plagas o las necesidades de los cultivos puede afectar la productividad. Altieri et al. (2015) sostienen que la transición agroecológica requiere experimentación, seguimiento y ajustes progresivos para evitar desequilibrios.

Los conocimientos locales desempeñan una función esencial en este proceso. La elaboración de abonos, la conservación de semillas y el manejo ecológico de organismos requieren experiencia sobre las condiciones ambientales y productivas del territorio. La FAO (2017) reconoce que el fortalecimiento de las capacidades de los agricultores constituye un componente fundamental para construir sistemas agrícolas con mayor resiliencia.

La autonomía productiva también se encuentra relacionada con la disponibilidad de mano de obra y tiempo. Algunas prácticas agroecológicas pueden reducir la compra de insumos, pero incrementar inicialmente las necesidades de trabajo para producir compost, manejar coberturas o diversificar cultivos. La FAO (2018) señala que las decisiones deben considerar tanto los beneficios ecológicos como las condiciones económicas y laborales de las familias productoras.

La organización comunitaria puede disminuir determinados costos mediante la producción colectiva de insumos, el intercambio de semillas y la adquisición compartida de herramientas. Estas acciones permiten distribuir recursos y ampliar el acceso a alternativas que resultarían difíciles de implementar individualmente. La REDAGRES (2018) relaciona la cooperación con una mayor capacidad para movilizar recursos durante los procesos de adaptación.

Los resultados muestran que la reducción de la dependencia externa puede fortalecer la resiliencia frente a perturbaciones económicas. Los productores con mayor control sobre sus recursos presentan mejores posibilidades de mantener la producción cuando aumentan los precios o se interrumpe el suministro. Altieri et al. (2015) vinculan esta flexibilidad con la capacidad de reorganizar las actividades sin abandonar completamente el sistema productivo. Sin embargo, la evidencia disponible se concentra principalmente en los beneficios ecológicos relacionados con la reducción de fertilizantes y plaguicidas. Los análisis sobre rentabilidad, requerimientos de trabajo, estabilidad de los ingresos y capacidad de inversión presentan una menor frecuencia. Este resultado limita la comprensión de los efectos económicos y sociales que acompañan la autonomía productiva.

También se identificó una cantidad limitada de investigaciones sobre los procesos graduales de transición. Los estudios suelen comparar sistemas agroecológicos y convencionales, pero examinan con menor frecuencia las etapas intermedias y las dificultades enfrentadas por los productores. La FAO (2018) reconoce que la transformación requiere apoyo técnico, acceso a conocimientos y políticas que reduzcan los riesgos asumidos durante el cambio de modelo.

La resiliencia socioecológica exige considerar tanto la respuesta frente a perturbaciones climáticas como la capacidad para enfrentar variaciones económicas y comerciales. Un sistema puede conservar sus funciones ecológicas y continuar siendo vulnerable si depende de recursos costosos o mercados inestables. La REDAGRES (2018) plantea que la evaluación debe integrar las capacidades ecológicas, productivas, económicas y sociales de las unidades agrícolas.

En conjunto, la reducción de la dependencia de insumos externos contribuye a fortalecer la autonomía, disminuir determinados costos y ampliar la capacidad de decisión de los agricultores. No obstante, su implementación debe evitar sustituciones improvisadas que comprometan la productividad o trasladen cargas excesivas de trabajo a las familias. Altieri et al. (2015) sostienen que una transición agroecológica resiliente requiere combinar recursos locales, conocimientos, cooperación e incorporación selectiva de tecnologías apropiadas.

### **Conocimientos tradicionales y capacidad adaptativa**

Los conocimientos tradicionales fueron identificados como una dimensión fundamental de la resiliencia de los sistemas agrícolas. Las comunidades rurales han desarrollado históricamente prácticas adaptadas a las condiciones climáticas, ecológicas y productivas de sus territorios. La FAO (2017) reconoce que estos conocimientos fortalecen la capacidad de las personas y comunidades para anticipar riesgos, responder frente a perturbaciones y reorganizar sus actividades productivas.

La construcción de estos conocimientos surge de procesos prolongados de observación, experimentación y transmisión entre generaciones. Los agricultores interpretan el comportamiento de las lluvias, los cambios de temperatura, las características del suelo y las respuestas de las especies cultivadas. Altieri et al. (2015) señalan que esta experiencia acumulada permite ajustar las prácticas de manejo a las condiciones específicas de cada agroecosistema.

La selección y conservación de variedades locales constituye una de las principales expresiones de estos conocimientos. Los agricultores identifican materiales con diferencias en duración del ciclo, tolerancia a la sequía, resistencia frente a plagas y adaptación a distintos tipos de suelo. La REDAGRES (2018) relaciona esta capacidad de selección con una mayor disponibilidad de alternativas para responder frente a la variabilidad climática.

La conservación de semillas también favorece la continuidad de materiales asociados con prácticas alimentarias y culturales de las comunidades. Su intercambio permite recuperar variedades después de una pérdida y distribuir los riesgos entre diferentes productores. La FAO (2017) destaca que las redes comunitarias pueden contribuir a movilizar recursos y fortalecer la recuperación después de perturbaciones ambientales o productivas.

El manejo tradicional del agua constituye otro ámbito relevante. Las comunidades han desarrollado sistemas de captación, almacenamiento, conducción y distribución adaptados a la topografía y a la disponibilidad estacional. Altieri et al. (2015) consideran que estas prácticas pueden complementar las tecnologías contemporáneas y contribuir al diseño de estrategias hídricas ajustadas a las condiciones territoriales.

Los conocimientos sobre el suelo permiten diferenciar áreas según su fertilidad, humedad, textura y aptitud productiva. A partir de estas observaciones, los agricultores pueden seleccionar cultivos, establecer rotaciones y ajustar los períodos de siembra. La REDAGRES (2018) sostiene que la capacidad para interpretar las condiciones locales constituye un recurso importante para disminuir la sensibilidad frente a amenazas climáticas.

La diversificación productiva también se encuentra vinculada con los conocimientos desarrollados localmente. Las asociaciones de cultivos, los calendarios agrícolas y la distribución de las especies responden frecuentemente a experiencias acumuladas sobre complementariedad y riesgos. La FAO (2018) reconoce que estas prácticas pueden mejorar el aprovechamiento de los recursos y distribuir las pérdidas entre diferentes componentes productivos.

Los agricultores poseen conocimientos sobre indicadores ambientales que permiten anticipar determinados cambios. El comportamiento de animales, la floración de especies, la dirección de los vientos y otras señales pueden utilizarse para interpretar la proximidad de lluvias o períodos secos. Altieri et al. (2015) destacan que estas observaciones deben valorarse en relación con el territorio y complementarse con información climática disponible.

La capacidad adaptativa no depende únicamente de la posesión de conocimientos, sino también de la posibilidad de utilizarlos y modificarlos. Los cambios climáticos pueden alterar las relaciones históricas entre determinados indicadores y los eventos esperados. La REDAGRES (2018) plantea que la resiliencia exige procesos continuos de aprendizaje mediante los cuales las prácticas sean evaluadas y ajustadas frente a nuevas condiciones.

La agroecología reconoce la importancia de articular los conocimientos tradicionales con los avances científicos. Esta integración permite combinar la experiencia territorial con información sobre clima, suelo, biodiversidad y tecnologías productivas. La FAO (2018) sostiene que el diálogo entre distintas formas de conocimiento puede generar soluciones más apropiadas que aquellas transferidas sin considerar las características locales.

La investigación participativa constituye un mecanismo para facilitar esta integración. Los agricultores pueden intervenir en la definición de los problemas, la selección de prácticas y la evaluación de resultados, mientras que los

investigadores aportan herramientas de medición y análisis. Altieri et al. (2015) señalan que esta cooperación favorece procesos de innovación adaptados a las necesidades reales de los sistemas productivos.

Los procesos de experimentación realizados en las propias explotaciones permiten comparar variedades, asociaciones y prácticas de manejo. Los resultados pueden ser observados directamente por los productores y compartidos con otros integrantes de la comunidad. La REDAGRES (2018) relaciona este aprendizaje colectivo con el fortalecimiento de las capacidades necesarias para responder frente al cambio climático.

Sin embargo, la continuidad de los conocimientos tradicionales enfrenta diferentes amenazas. La migración rural, el envejecimiento de la población, la disminución del relevo generacional y la expansión de modelos estandarizados pueden afectar su transmisión. La FAO (2017) advierte que la pérdida de capacidades locales puede aumentar la vulnerabilidad de las comunidades al limitar las estrategias disponibles frente a las perturbaciones.

La desvalorización de los conocimientos campesinos también puede debilitar su conservación. Cuando las políticas, los programas de extensión o los sistemas educativos reconocen únicamente soluciones externas, se reducen los espacios para transmitir y adaptar las prácticas locales. Altieri et al. (2015) sostienen que la agroecología debe promover relaciones horizontales que reconozcan a los agricultores como productores de conocimiento.

La participación de jóvenes y mujeres resulta relevante para mantener y renovar estos saberes. Ambos grupos desempeñan funciones importantes en la selección de semillas, la producción de alimentos y la administración de recursos, aunque sus aportes no siempre son reconocidos. La FAO (2017) considera que una resiliencia inclusiva requiere fortalecer la participación de los distintos integrantes de las comunidades rurales.

La documentación puede contribuir a conservar conocimientos, pero no debe separarlos de las prácticas y contextos en los que se desarrollan. Los saberes agrícolas se modifican mediante su aplicación, observación y transmisión cotidiana. La REDAGRES (2018) plantea que los procesos participativos permiten registrar estas experiencias sin reducirlas a información externa a las comunidades que las han producido.

Los resultados muestran que la resiliencia no depende exclusivamente de la disponibilidad de tecnologías. La capacidad para observar, interpretar, decidir y aprender frente a modificaciones ambientales constituye un componente igualmente importante. Altieri et al. (2015) relacionan esta capacidad con la posibilidad de adaptar las prácticas sin perder las funciones esenciales del agroecosistema.

A pesar de su relevancia, los conocimientos tradicionales recibieron menor atención que los componentes biofísicos en una parte de la literatura analizada. Fueron más frecuentes los estudios sobre biodiversidad, suelo y agua que las investigaciones sobre aprendizaje, transmisión y toma de decisiones. Este resultado evidencia una brecha en la comprensión integral de la resiliencia socioecológica.

En conjunto, los conocimientos tradicionales fortalecen la capacidad adaptativa al proporcionar criterios para seleccionar variedades, manejar recursos, interpretar riesgos y reorganizar las actividades productivas. La FAO (2018) reconoce que su integración con la investigación científica puede contribuir a desarrollar soluciones pertinentes y sostenibles. Por ello, su conservación debe acompañarse de procesos de intercambio, experimentación y aprendizaje que permitan adaptarlos a las nuevas condiciones climáticas y socioeconómicas.

### **Organización comunitaria y redes sociales para la resiliencia**

La organización comunitaria fue identificada como un componente fundamental de la resiliencia agrícola, debido a que los productores no responden de manera aislada frente a las perturbaciones. Las relaciones establecidas entre agricultores, comunidades, instituciones y organizaciones influyen en la capacidad para acceder a información, movilizar recursos y desarrollar respuestas colectivas. La FAO (2017) destaca que la resiliencia debe fortalecerse simultáneamente en las personas, las comunidades y los sistemas productivos.

Las redes sociales facilitan el intercambio de conocimientos sobre prácticas agrícolas, riesgos climáticos y alternativas de adaptación. Mediante estas relaciones, los productores pueden conocer experiencias desarrolladas en otras unidades productivas y evaluar su posible aplicación. La REDAGRES (2018) vincula la circulación de información con una mayor capacidad para anticipar amenazas y ajustar oportunamente las decisiones de manejo.

La cooperación también permite compartir recursos durante períodos de crisis. Las comunidades pueden organizar actividades para recuperar cultivos, reparar infraestructura, distribuir agua o apoyar a las familias afectadas. La FAO (2017) reconoce que estas acciones colectivas reducen el aislamiento de los productores y pueden acelerar la recuperación después de perturbaciones climáticas, económicas o productivas.

Las organizaciones de productores desempeñan una función importante dentro de los procesos de transición agroecológica. La acción colectiva facilita la adquisición compartida de herramientas, la producción de insumos y el acceso a servicios de capacitación. Altieri et al. (2015) señalan que la organización puede reducir determinadas barreras económicas y ampliar las posibilidades de adoptar prácticas diversificadas.

La comercialización conjunta constituye otro beneficio asociado con la organización. Los productores pueden reunir volúmenes, reducir costos de transporte y mejorar su capacidad de negociación frente a intermediarios y compradores. La FAO (2017) relaciona el acceso estable a los mercados con la protección de los medios de vida y la capacidad de recuperación económica de las comunidades rurales.

La diversificación de canales comerciales también puede disminuir la vulnerabilidad frente a cambios en un mercado específico. Las ferias, circuitos cortos, cooperativas y mecanismos de venta directa generan alternativas para colocar la producción. Altieri et al. (2015) consideran que estas redes acercan a productores y consumidores y pueden fortalecer la estabilidad económica de los sistemas agroecológicos.

Las redes comunitarias de semillas constituyen un ejemplo relevante de cooperación orientada hacia la resiliencia. Estas iniciativas permiten conservar, intercambiar y recuperar variedades adaptadas a distintas condiciones ambientales. La REDAGRES (2018) destaca que la disponibilidad colectiva de diversidad genética amplía las opciones para responder frente a sequías, plagas y modificaciones de los ciclos productivos.

Cuando una familia pierde sus semillas debido a una inundación, sequía u otra perturbación, las redes pueden facilitar su recuperación. Este mecanismo evita que la pérdida individual provoque la desaparición definitiva de determinados materiales. La FAO (2017) reconoce que la movilización comunitaria de recursos contribuye a mantener la continuidad de la producción y fortalece la seguridad alimentaria local.

La organización social también puede mejorar el acceso y la gestión del agua. Las comunidades pueden establecer acuerdos para distribuir el recurso, mantener infraestructuras y resolver conflictos entre usuarios. Altieri et al. (2015) señalan que la gestión colectiva resulta particularmente importante cuando la disponibilidad es limitada y las decisiones individuales pueden afectar a otros productores.

Los acuerdos comunitarios permiten definir turnos, responsabilidades y medidas para conservar las fuentes de agua. Su efectividad depende de la participación, la legitimidad de las normas y la capacidad para vigilar su cumplimiento. La REDAGRES (2018) considera que estas capacidades institucionales forman parte de los recursos necesarios para responder frente a perturbaciones y evitar que la escasez genere conflictos.

La participación comunitaria resulta fundamental para diseñar estrategias de adaptación climática. Las soluciones establecidas sin considerar las necesidades, recursos y conocimientos locales pueden presentar dificultades de aplicación. La FAO (2017) sostiene que la intervención de los actores territoriales mejora la pertinencia de las medidas y fortalece su apropiación a largo plazo.

Los procesos participativos permiten identificar amenazas, evaluar vulnerabilidades y priorizar acciones de manera colectiva. Los productores aportan conocimientos sobre su territorio, mientras que las instituciones pueden proporcionar información técnica, financiamiento y herramientas de planificación. La REDAGRES (2018) destaca que esta combinación favorece evaluaciones de resiliencia adaptadas a las condiciones reales de los agroecosistemas.

La relación con universidades, centros de investigación y servicios de extensión puede ampliar las capacidades disponibles en las comunidades. Estas instituciones pueden apoyar la experimentación, el monitoreo y la formación técnica, siempre que las acciones respondan a problemas definidos junto con los agricultores. Altieri et al. (2015) señalan que las relaciones horizontales favorecen el aprendizaje y evitan la transferencia de soluciones descontextualizadas.

Las redes interinstitucionales también contribuyen a conectar a las comunidades con programas, mercados y mecanismos de financiamiento. La coordinación entre gobiernos locales, organizaciones y centros de investigación permite reunir recursos que difícilmente estarían disponibles para productores individuales. La FAO (2017) reconoce que la articulación institucional fortalece las capacidades preventivas y mejora la respuesta durante situaciones de emergencia.

El capital social se manifiesta mediante la confianza, la reciprocidad y las normas que facilitan la cooperación entre los integrantes de una comunidad. Cuando estas relaciones son sólidas, las personas presentan mayores posibilidades de coordinar acciones y compartir recursos. La REDAGRES (2018) vincula estas capacidades con la posibilidad de reorganizar el sistema después de una perturbación y mantener sus funciones esenciales.

Sin embargo, la existencia de una organización no garantiza automáticamente una participación equitativa. Las diferencias de poder, género, edad, acceso a tierra y capacidad económica pueden limitar la intervención de determinados grupos. La FAO (2017) plantea que el fortalecimiento de la resiliencia debe considerar estas desigualdades para evitar que los beneficios se concentren en los actores con mayores recursos.

La inclusión de mujeres y jóvenes resulta particularmente importante para asegurar la continuidad de las organizaciones y los conocimientos agrícolas. Estos grupos participan en la producción, conservación de semillas, transformación de alimentos y comercialización, aunque sus aportes pueden permanecer invisibilizados. Altieri et al. (2015) destacan que una transición agroecológica sostenible requiere ampliar los espacios de decisión y reconocimiento.

Las organizaciones comunitarias también pueden enfrentar dificultades relacionadas con liderazgo, continuidad, conflictos internos y dependencia de proyectos externos. Cuando una iniciativa se sostiene únicamente mediante financiamiento temporal, sus actividades pueden interrumpirse al finalizar el apoyo. La FAO (2017) reconoce que la construcción de capacidades locales y mecanismos propios de gestión resulta indispensable para garantizar la permanencia de las acciones.

Los resultados muestran que la dimensión social recibió menor atención que los componentes ecológicos en una parte considerable de la literatura. Aunque se reconocen los beneficios de la cooperación, son menos frecuentes las evaluaciones sobre confianza, poder, participación y capacidad institucional. Esta brecha limita la comprensión de la manera en que las relaciones sociales influyen sobre los resultados productivos y ambientales.

En conjunto, la organización comunitaria fortalece la resiliencia mediante el intercambio de información, la movilización de recursos, la conservación de semillas, la gestión colectiva y el acceso a mercados. La REDAGRES (2018) reconoce que estas capacidades permiten anticipar, responder y recuperarse frente a diferentes perturbaciones. Por ello, la resiliencia agrícola debe comprenderse como una propiedad construida mediante la interacción entre ecosistemas, unidades productivas, comunidades e instituciones.

### **Resistencia, adaptación, recuperación y transformación de los agroecosistemas**

El análisis de la literatura permitió identificar diferentes interpretaciones de la resiliencia agrícola. Aunque el concepto se utiliza generalmente para describir la capacidad de responder frente a perturbaciones, los estudios examinados no siempre analizan las mismas propiedades ni los mismos resultados. La REDAGRES (2018) señala que la resiliencia debe comprenderse mediante las capacidades de resistencia, adaptación, recuperación y reorganización desarrolladas por los agroecosistemas y las comunidades.

La resistencia se relaciona con la capacidad del sistema para mantener sus estructuras, procesos y funciones durante una perturbación. Un agroecosistema resistente puede conservar determinados niveles de producción frente a una sequía, una plaga o una variación de los precios. Altieri et al. (2015) vinculan esta capacidad con la diversidad, la salud del suelo y la existencia de mecanismos ecológicos capaces de amortiguar los impactos.

La resistencia no implica que el sistema permanezca completamente inalterado. Las perturbaciones pueden producir modificaciones, pero estas no superan los límites que comprometerían sus funciones esenciales. La FAO (2017)

reconoce que los sistemas resilientes pueden absorber impactos y mantener sus medios de vida, aunque experimenten cambios temporales en la producción o en la utilización de los recursos.

La diversificación contribuye a la resistencia porque distribuye los riesgos entre diferentes especies, variedades y actividades. Cuando un componente resulta afectado, otros pueden mantener parte de la producción y las funciones ecológicas. Altieri et al. (2015) consideran que esta capacidad de compensación reduce la probabilidad de pérdidas generalizadas y fortalece la estabilidad del sistema.

La salud del suelo también desempeña una función importante en la resistencia. Los suelos con mayor contenido de materia orgánica y mejor estructura pueden conservar agua y nutrientes durante períodos adversos. La FAO (2018) relaciona estas propiedades con una menor sensibilidad frente a sequías, precipitaciones intensas y procesos de erosión.

La recuperación se refiere a la capacidad para restablecer las funciones después de que una perturbación haya ocasionado daños. Esta dimensión puede evaluarse mediante el tiempo necesario para recuperar la producción, la fertilidad, la cobertura o los medios de vida. La REDAGRES (2018) sostiene que la velocidad y el grado de recuperación dependen de los recursos ecológicos, económicos y sociales disponibles.

Los sistemas diversificados pueden recuperarse con mayor facilidad cuando conservan especies y funciones capaces de regenerar los procesos afectados. La presencia de bancos de semillas, materia orgánica, vegetación natural y organismos benéficos proporciona recursos para la reorganización. Altieri et al. (2015) explican que la biodiversidad favorece la recuperación al mantener alternativas funcionales dentro del agroecosistema.

Las redes comunitarias también pueden acelerar la recuperación mediante el intercambio de semillas, herramientas, trabajo e información. Las familias afectadas pueden acceder a recursos que no se encuentran disponibles dentro de sus propias explotaciones. La FAO (2017) destaca que estas relaciones reducen el aislamiento y fortalecen la capacidad colectiva para responder después de una crisis.

La recuperación no siempre significa regresar exactamente al estado anterior a la perturbación. En algunos casos, las condiciones previas presentaban vulnerabilidades que contribuyeron a la magnitud del impacto. La REDAGRES (2018) plantea que el proceso puede incluir aprendizajes y ajustes destinados a evitar que el sistema reproduzca las mismas condiciones de riesgo.

La adaptación implica modificar prácticas, estructuras y decisiones para responder a condiciones cambiantes. Los agricultores pueden cambiar fechas de siembra, seleccionar variedades tolerantes, incorporar nuevos cultivos o ajustar el manejo del agua. Altieri et al. (2015) consideran que esta flexibilidad constituye una característica central de los sistemas agroecológicos resilientes.

La capacidad adaptativa depende de la disponibilidad de conocimientos, recursos y alternativas productivas. Un agricultor puede reconocer la necesidad de modificar sus prácticas, pero no disponer de semillas, financiamiento o asistencia técnica para hacerlo. La FAO (2017) sostiene que el fortalecimiento de capacidades humanas e institucionales resulta indispensable para convertir el conocimiento de los riesgos en acciones concretas.

La diversidad amplía las opciones disponibles para la adaptación. La presencia de diferentes variedades, especies y actividades permite seleccionar aquellas que presentan mejores resultados bajo nuevas condiciones. La REDAGRES (2018) relaciona esta disponibilidad de alternativas con una menor vulnerabilidad frente a escenarios climáticos inciertos.

El aprendizaje desempeña igualmente una función central en la adaptación. Los productores observan los efectos de las prácticas, intercambian experiencias y modifican sus decisiones a partir de los resultados. Altieri et al. (2015) destacan que la innovación agroecológica surge de la interacción entre conocimientos locales, experimentación y aportes científicos.

La transformación representa una capacidad más amplia que la resistencia, la recuperación o la adaptación. Determinadas perturbaciones pueden superar los límites del sistema existente y hacer necesaria una modificación estructural. La FAO (2018) reconoce que la transformación de los sistemas agrícolas puede implicar cambios en las prácticas, instituciones, relaciones comerciales y formas de gestión de los recursos.

Un proceso transformador puede incluir la sustitución de monocultivos por sistemas diversificados, la reorganización de las cadenas de comercialización o la creación de nuevas formas de cooperación. Estos cambios no buscan únicamente mantener el funcionamiento anterior, sino construir un sistema menos vulnerable. Altieri et al. (2015) relacionan la transformación agroecológica con el rediseño de las interacciones ecológicas y sociales que sostienen la producción.

La transformación también puede resultar necesaria cuando las condiciones ambientales dejan de ser compatibles con los cultivos tradicionalmente establecidos. En estos casos, los agricultores pueden incorporar especies diferentes, modificar los calendarios o desarrollar nuevas actividades. La REDAGRES (2018) plantea que esta capacidad depende de la disponibilidad de conocimientos, recursos y apoyo institucional.

La literatura analizada no siempre diferencia claramente entre resistencia, recuperación, adaptación y transformación. En numerosos documentos, el término resiliencia se utiliza de manera general sin especificar la capacidad evaluada. Esta situación dificulta la comparación entre estudios, debido a que una investigación puede medir estabilidad productiva y otra analizar cambios institucionales bajo un mismo concepto.

La ausencia de definiciones operativas también afecta la selección de indicadores. Los rendimientos pueden resultar apropiados para evaluar la resistencia, pero insuficientes para analizar la adaptación social o la transformación institucional. La FAO (2017) reconoce que la resiliencia presenta múltiples dimensiones y requiere procedimientos que consideren las capacidades de las personas, las comunidades y los ecosistemas.

Los resultados muestran que los sistemas agrícolas resilientes deben combinar las diferentes capacidades. La resistencia permite amortiguar impactos moderados, mientras que la recuperación facilita el restablecimiento de las funciones después del daño. La adaptación permite modificar las prácticas frente a condiciones cambiantes y la transformación ofrece alternativas cuando las estructuras existentes dejan de ser sostenibles.

La agroecología puede contribuir a estas capacidades mediante mecanismos complementarios. La diversidad fortalece la resistencia y la compensación, mientras que la salud del suelo favorece la recuperación. Los conocimientos y el aprendizaje amplían la capacidad adaptativa, y la organización social facilita procesos de transformación colectiva (Altieri et al., 2015).

En conjunto, esta perspectiva multidimensional proporciona una comprensión más amplia de la resiliencia agrícola. Los sistemas no deben evaluarse únicamente por su capacidad para mantener el rendimiento, sino también por sus posibilidades de aprender, reorganizarse y transformarse. La REDAGRES (2018) sostiene que la combinación de capacidades ecológicas y sociales resulta fundamental para responder frente a perturbaciones cuya intensidad, duración y características pueden variar a través del tiempo.

### **Métodos e indicadores utilizados para evaluar la resiliencia**

La evaluación de la resiliencia fue una de las áreas con mayor diversidad metodológica dentro de la literatura analizada. Los estudios incluidos utilizaron distintos indicadores, escalas temporales y unidades de análisis para examinar la capacidad de respuesta de los sistemas agrícolas. La REDAGRES (2018) señala que esta diversidad responde a la complejidad del concepto y a las diferencias existentes entre territorios, sistemas productivos y tipos de perturbación. Algunas investigaciones evaluaron la resiliencia a escala de parcela mediante variables relacionadas con cultivos, suelo, agua y biodiversidad. Otros estudios analizaron explotaciones completas, comunidades rurales, paisajes o sistemas agroalimentarios. La FAO (2017) reconoce que la escala seleccionada influye en los componentes observados, debido a que determinados procesos ecológicos se manifiestan localmente, mientras que las capacidades sociales e institucionales pueden desarrollarse a escala comunitaria o territorial.

Las variables productivas fueron las más frecuentes dentro de los documentos examinados. El rendimiento, la estabilidad de la producción, la diversidad de productos y el tiempo de recuperación después de una perturbación se utilizaron para valorar el desempeño del sistema. Altieri et al. (2015) señalan que estos indicadores permiten observar si la producción se mantiene o recupera, pero no representan por sí solos toda la complejidad de la resiliencia.

El rendimiento obtenido durante un evento adverso puede utilizarse para analizar la resistencia del sistema. Una disminución menor respecto a períodos normales puede indicar capacidad para amortiguar el impacto. La REDAGRES (2018) plantea que esta comparación debe considerar la intensidad de la perturbación y las condiciones previas, debido a que sistemas expuestos a amenazas diferentes no pueden evaluarse mediante una interpretación uniforme.

La variabilidad de la producción entre ciclos también fue empleada como indicador de estabilidad. Los sistemas que mantienen resultados relativamente constantes pueden presentar una mayor capacidad para distribuir los riesgos. Sin embargo, la FAO (2018) advierte que la estabilidad no siempre implica sostenibilidad, especialmente cuando depende de elevados niveles de insumos externos o de prácticas que degradan los recursos naturales.

El tiempo necesario para recuperar la producción permite analizar otra dimensión de la resiliencia. Una explotación que restablece sus funciones rápidamente después de una sequía, inundación o ataque de plagas puede mostrar una mayor capacidad de recuperación. Altieri et al. (2015) relacionan esta respuesta con la disponibilidad de biodiversidad, recursos internos y mecanismos de reorganización.

Las variables ambientales ocuparon también un lugar relevante en las metodologías identificadas. La materia orgánica, la estructura del suelo, la infiltración, la humedad y la cobertura fueron utilizadas para examinar la capacidad de amortiguar perturbaciones. La REDAGRES (2018) reconoce que estas propiedades permiten evaluar la sensibilidad del agroecosistema frente a sequías, lluvias intensas y erosión.

La disponibilidad y eficiencia en el uso del agua constituyeron indicadores frecuentes en estudios desarrollados en territorios con sequías o precipitaciones irregulares. Se analizaron la capacidad de almacenamiento, la eficiencia del riego, la infiltración y la conservación de humedad. La FAO (2018) relaciona estos elementos con la capacidad de sostener la producción sin incrementar la presión sobre las fuentes hídricas.

La biodiversidad fue evaluada mediante el número de especies, la diversidad de cultivos, la presencia de variedades locales y la existencia de organismos benéficos. Sin embargo, Altieri et al. (2015) señalan que los indicadores deben incorporar la funcionalidad, debido a que un mayor número de especies no garantiza automáticamente mejores procesos de regulación, complementariedad o recuperación.

La estructura del paisaje también fue considerada en determinados estudios mediante la presencia de bosques, cercas vivas, corredores ecológicos y áreas de vegetación natural. Estos elementos pueden favorecer la conectividad, la regulación microclimática y el desplazamiento de organismos benéficos. La FAO (2018) reconoce que la resiliencia de una explotación puede depender de procesos desarrollados más allá de sus límites inmediatos.

Las dimensiones económicas aparecieron con menor frecuencia que las variables productivas y ambientales. Entre los indicadores utilizados se encontraron la diversidad de ingresos, los costos de producción, la dependencia de insumos y el acceso a mercados. La REDAGRES (2018) plantea que estas variables resultan necesarias para determinar si los productores cuentan con recursos suficientes para responder y recuperarse frente a una perturbación.

La diversidad de ingresos permite analizar el grado de dependencia respecto a una sola actividad. Los hogares que obtienen recursos de distintos cultivos, animales o actividades pueden distribuir los riesgos económicos. Altieri et al. (2015) relacionan esta diversificación con una mayor estabilidad de los medios de vida cuando las perturbaciones afectan de manera desigual los componentes del sistema.

La dependencia de insumos externos también fue empleada para evaluar la autonomía productiva. Los sistemas que necesitan grandes cantidades de fertilizantes, plaguicidas, semillas y combustibles pueden encontrarse más expuestos a variaciones de precios. La FAO (2018) considera que la eficiencia y el uso de recursos locales constituyen componentes importantes de la sostenibilidad y la capacidad adaptativa.

Los indicadores sociales presentaron una menor presencia dentro de los estudios incluidos. Algunas investigaciones consideraron la organización comunitaria, las redes de cooperación, el intercambio de conocimientos y la participación en procesos colectivos. La FAO (2017) destaca que estas capacidades facilitan la movilización de recursos y pueden mejorar la respuesta de las comunidades durante situaciones de crisis.

Los conocimientos tradicionales y la capacidad de aprendizaje fueron incorporados mediante entrevistas, talleres participativos y valoraciones realizadas por los agricultores. Estas aproximaciones permitieron analizar la forma en que

los productores interpretan las amenazas y modifican sus prácticas. La REDAGRES (2018) sostiene que la percepción local proporciona información que no siempre puede obtenerse mediante indicadores biofísicos.

La participación de los agricultores resulta importante para seleccionar indicadores relevantes y comprensibles. Los productores pueden identificar variables relacionadas con sus experiencias, prioridades y condiciones territoriales. Altieri et al. (2015) señalan que la evaluación participativa fortalece la utilidad de los resultados y facilita su aplicación en la toma de decisiones.

Las metodologías cuantitativas permitieron medir rendimientos, propiedades del suelo, disponibilidad de agua, diversidad y variables económicas. Estos datos facilitaron la comparación entre sistemas, períodos y prácticas. No obstante, la FAO (2017) reconoce que determinadas capacidades sociales, institucionales y culturales no pueden comprenderse completamente mediante valores numéricos aislados.

Las técnicas cualitativas permitieron analizar conocimientos, percepciones, relaciones sociales, decisiones y procesos de adaptación. Las entrevistas, grupos focales y talleres proporcionaron información sobre los significados atribuidos a las perturbaciones y las estrategias desarrolladas. La REDAGRES (2018) considera que estos procedimientos complementan las mediciones y permiten comprender cómo los actores construyen la resiliencia.

La combinación de información cuantitativa y cualitativa ofrece una visión más integral. Los indicadores biofísicos pueden mostrar cambios en el suelo, el agua o la producción, mientras que los datos cualitativos explican las decisiones y capacidades que originaron esos resultados. Altieri et al. (2015) destacan que la resiliencia socioecológica requiere integrar las propiedades ambientales con los conocimientos y relaciones humanas.

Los resultados muestran que no existe un método universalmente aceptado para evaluar la resiliencia agrícola. Esta heterogeneidad puede explicarse por la diversidad de sistemas, amenazas y objetivos de investigación. La FAO (2018) plantea que los indicadores deben adaptarse a las condiciones locales, pero conservar criterios que permitan establecer comparaciones y orientar decisiones.

La falta de uniformidad metodológica dificulta comparar los resultados entre investigaciones. Un mismo indicador puede presentar significados diferentes según la escala, la perturbación y el contexto productivo. La REDAGRES (2018) recomienda definir claramente las dimensiones evaluadas, los procedimientos de medición y los criterios utilizados para interpretar los resultados.

También se identificó una limitada presencia de evaluaciones longitudinales. Numerosos estudios analizaron la resiliencia en un momento específico o después de un único evento, sin observar la evolución posterior. Altieri et al. (2015) señalan que la resiliencia constituye un proceso dinámico y requiere mediciones capaces de representar cambios, aprendizajes y reorganizaciones a través del tiempo.

En conjunto, la revisión evidencia la necesidad de desarrollar marcos metodológicos que integren componentes ecológicos, productivos, económicos, sociales e institucionales. Estos marcos deben combinar indicadores comparables con adaptaciones territoriales y participación de los agricultores. La REDAGRES (2018) sostiene que una evaluación multidimensional permite reconocer con mayor precisión las fortalezas, vulnerabilidades y capacidades de transformación de los agroecosistemas.

### **Principales tendencias y vacíos de conocimiento identificados**

El mapeo de la evidencia permitió identificar tendencias relacionadas con la evolución conceptual y metodológica de los estudios sobre agroecología y resiliencia. La producción científica examinada muestra un desplazamiento desde análisis centrados en propiedades ecológicas hacia aproximaciones que incorporan progresivamente dimensiones productivas, sociales y económicas. La FAO (2017) reconoce que la resiliencia agrícola depende de las capacidades desarrolladas por las personas, las comunidades, las instituciones y los ecosistemas.

La primera tendencia identificada corresponde al crecimiento de investigaciones relacionadas con el cambio climático. La resiliencia se analiza cada vez con mayor frecuencia desde la perspectiva de la adaptación frente a sequías, lluvias intensas, temperaturas elevadas y variaciones en los ciclos productivos. La REDAGRES (2018) señala que estas

perturbaciones requieren evaluar conjuntamente la exposición, la sensibilidad y la capacidad de respuesta de los agroecosistemas.

Dentro de esta tendencia, la diversificación, la conservación del suelo y el manejo del agua aparecen como estrategias recurrentes. Los estudios buscan determinar la manera en que estas prácticas permiten amortiguar los efectos climáticos y mantener determinadas funciones productivas. Altieri et al. (2015) destacan que la integración de varios principios agroecológicos puede generar respuestas más consistentes que la aplicación aislada de una práctica.

La segunda tendencia corresponde a la incorporación de la perspectiva socioecológica. Los agroecosistemas comienzan a comprenderse como sistemas donde los procesos ambientales se encuentran vinculados con conocimientos, decisiones, relaciones económicas e instituciones. La FAO (2018) sostiene que la sostenibilidad agrícola requiere articular el manejo de los recursos naturales con las capacidades de los productores y las condiciones territoriales.

Esta ampliación conceptual ha favorecido el reconocimiento de los conocimientos tradicionales, las redes de cooperación y la autonomía productiva. Sin embargo, estas dimensiones no presentan el mismo nivel de desarrollo que los componentes biofísicos. La FAO (2017) destaca que el fortalecimiento de las capacidades humanas y comunitarias resulta indispensable para transformar el conocimiento de los riesgos en respuestas efectivas.

La tercera tendencia identificada corresponde al creciente interés por desarrollar métodos e indicadores para evaluar la resiliencia. Los estudios utilizan variables relacionadas con rendimientos, estabilidad, salud del suelo, biodiversidad, disponibilidad hídrica, ingresos y organización social. La REDAGRES (2018) ha contribuido a este campo mediante aproximaciones participativas que buscan integrar la percepción de los agricultores con información sobre las características del agroecosistema.

A pesar de este avance, no existe un marco universalmente aceptado para medir la resiliencia agrícola. Los indicadores varían según la escala, el sistema productivo y la perturbación examinada, lo que dificulta las comparaciones entre estudios. Altieri et al. (2015) sostienen que la evaluación debe adaptarse al contexto, pero mantener una comprensión multidimensional de los procesos ecológicos y sociales.

Otra tendencia corresponde a la consideración progresiva de la transformación como una dimensión de la resiliencia. Las investigaciones más recientes no se limitan a determinar si los sistemas resisten o recuperan su estado anterior, sino que analizan la posibilidad de modificar estructuras y prácticas. La FAO (2018) reconoce que la adaptación climática puede requerir cambios profundos en el diseño de los sistemas, las cadenas productivas y las políticas agrícolas.

La revisión también permitió identificar importantes vacíos de conocimiento. Uno de los principales corresponde a la limitada disponibilidad de estudios longitudinales capaces de observar la evolución de los sistemas durante períodos prolongados. La resiliencia constituye un proceso dinámico que involucra respuestas inmediatas, recuperación, aprendizaje y reorganización, por lo que las evaluaciones realizadas en un solo momento resultan insuficientes.

La escasez de estudios longitudinales dificulta determinar si los beneficios atribuidos a una práctica se mantienen a través del tiempo. Una estrategia puede producir resultados favorables durante un ciclo y generar efectos diferentes después de varios años. Altieri et al. (2015) señalan que las transiciones agroecológicas deben comprenderse como procesos graduales que requieren seguimiento y ajustes continuos.

Otro vacío corresponde a la limitada integración entre dimensiones ecológicas, productivas, económicas y sociales. Una parte importante de las investigaciones se concentra en el suelo, el agua, la biodiversidad o los rendimientos sin examinar simultáneamente las condiciones económicas y organizativas. La FAO (2017) advierte que la resiliencia no puede comprenderse completamente si se separan las propiedades de los ecosistemas de las capacidades de las comunidades.

La dimensión económica presenta particularmente una menor atención. Aunque la literatura reconoce que la diversificación y la reducción de insumos pueden mejorar la autonomía, son menos frecuentes los análisis sobre costos, rentabilidad, trabajo e ingresos. La FAO (2018) sostiene que la sostenibilidad de las prácticas depende de que puedan mantenerse dentro de las condiciones económicas reales de los agricultores.

La distribución de los costos y beneficios constituye otro aspecto insuficientemente estudiado. Una práctica puede mejorar la resiliencia general de la explotación, pero generar mayores cargas de trabajo para determinados integrantes del hogar. Altieri et al. (2015) consideran necesario analizar quiénes participan, quiénes toman las decisiones y cómo se distribuyen los resultados de las transiciones agroecológicas.

La dimensión institucional también presenta una presencia limitada en la literatura. Las políticas públicas, los servicios de extensión, el crédito y las regulaciones pueden facilitar o restringir la adopción de prácticas resilientes. La FAO (2017) reconoce que las capacidades institucionales influyen en la preparación, respuesta y recuperación de los sistemas agrícolas frente a crisis.

La investigación disponible analiza con menor frecuencia la coordinación entre instituciones y productores. Los programas pueden promover tecnologías sin considerar los conocimientos, recursos o prioridades territoriales. La REDAGRES (2018) destaca que los procesos participativos resultan necesarios para identificar vulnerabilidades y construir estrategias adaptadas a las condiciones locales.

También se observaron diferencias geográficas en la distribución de la evidencia. Determinadas regiones concentran una mayor cantidad de estudios, mientras que otros territorios presentan información limitada. Esta desigualdad dificulta generalizar los resultados, debido a que las prácticas agroecológicas pueden producir efectos diferentes según el clima, el suelo, la estructura agraria y las condiciones socioeconómicas.

Las investigaciones desarrolladas en pequeñas explotaciones familiares también resultan insuficientes frente a la importancia de estos productores en la seguridad alimentaria. La FAO (2018) destaca que las unidades familiares enfrentan restricciones particulares de acceso a tierra, financiamiento, asistencia técnica y mercados. Por ello, las estrategias deben evaluarse considerando sus capacidades y limitaciones específicas.

Otro vacío corresponde a la evaluación comparativa de las prácticas. Aunque numerosos estudios describen los beneficios de la diversificación, la agroforestería o el manejo orgánico, son menos frecuentes las investigaciones que comparan su funcionamiento bajo condiciones semejantes. Altieri et al. (2015) señalan que los resultados dependen de la interacción entre prácticas, por lo que la comparación no debe limitarse a intervenciones aisladas.

La ausencia de grupos de comparación, líneas de base o mediciones anteriores a las perturbaciones también limita la interpretación. Sin esta información resulta difícil establecer si un sistema es resiliente o si las diferencias responden a condiciones previas. La REDAGRES (2018) propone combinar indicadores de vulnerabilidad con evaluaciones de las prácticas y capacidades existentes en cada unidad productiva.

La participación de los agricultores constituye otra área que requiere fortalecimiento. Aunque algunos estudios emplean métodos participativos, gran parte de la investigación continúa definiendo los indicadores y soluciones sin una intervención suficiente de los actores locales. La FAO (2017) sostiene que la participación mejora la pertinencia de las acciones y fortalece la apropiación de los procesos de adaptación.

Los conocimientos tradicionales y las innovaciones desarrolladas por los agricultores también reciben una atención limitada frente a las tecnologías externas. Altieri et al. (2015) reconocen que la experimentación local proporciona soluciones adaptadas a condiciones específicas. Por esta razón, futuras investigaciones deberían integrar el conocimiento científico con las experiencias y prácticas territoriales.

Asimismo, se necesitan estudios sobre la manera en que género, edad y desigualdad económica influyen en la resiliencia. Los hogares agrícolas no distribuyen de forma uniforme los recursos, el trabajo ni la capacidad de decisión. La FAO (2017) plantea que las estrategias deben considerar estas diferencias para evitar que las intervenciones aumenten las desigualdades existentes.

En conjunto, los resultados muestran que el campo de la agroecología y la resiliencia continúa experimentando un desarrollo importante. Las investigaciones avanzan hacia enfoques multidimensionales, pero persisten limitaciones relacionadas con el tiempo de seguimiento, la integración de variables y la participación de los agricultores. La REDAGRES (2018) sostiene que la evaluación debe combinar las condiciones ecológicas con las capacidades sociales y adaptarse a las características de cada territorio.

Las futuras investigaciones deberán priorizar diseños longitudinales, interdisciplinarios y participativos capaces de analizar conjuntamente las dimensiones ecológicas, productivas, económicas, sociales e institucionales. También será necesario comparar estrategias bajo diferentes condiciones y fortalecer la producción de evidencia en regiones poco estudiadas. Altieri et al. (2015) consideran que esta integración permitirá comprender mejor los mecanismos mediante los cuales los principios agroecológicos contribuyen a la resistencia, recuperación, adaptación y transformación de los sistemas agrícolas.

Final del formulario

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión de alcance evidencian que los principios agroecológicos constituyen una base relevante para comprender y fortalecer la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a perturbaciones climáticas, ambientales, productivas y socioeconómicas. El mapeo realizado muestra que esta capacidad no depende de una práctica aislada ni puede evaluarse exclusivamente mediante el mantenimiento de los rendimientos. La FAO (2017) sostiene que la resiliencia surge de las interacciones entre las capacidades de las personas, las comunidades, las instituciones y los ecosistemas.

Los hallazgos permiten interpretar los sistemas agrícolas como estructuras socioecológicas complejas y dinámicas. La diversificación, la biodiversidad funcional, la salud del suelo, la gestión del agua y el reciclaje de nutrientes actúan conjuntamente con los conocimientos, la organización y la autonomía productiva. Altieri et al. (2015) señalan que estas interacciones generan mecanismos de compensación, regulación y adaptación que no podrían desarrollarse con la misma intensidad mediante prácticas implementadas de manera independiente.

Uno de los principales resultados corresponde al papel transversal de la diversificación productiva. Las asociaciones, rotaciones, policultivos, sistemas agroforestales e integración entre cultivos y animales distribuyen los riesgos entre diferentes especies, variedades y actividades. La FAO (2018) relaciona esta diversidad con una mayor disponibilidad de alternativas para mantener la producción cuando una perturbación afecta un componente específico del agroecosistema.

Los sistemas simplificados pueden alcanzar rendimientos elevados bajo condiciones estables, pero su homogeneidad genética y productiva incrementa la exposición frente a sequías, plagas, enfermedades y fluctuaciones económicas. Cuando la producción depende de una sola especie, variedad o actividad, el impacto sobre ese componente puede comprometer el conjunto de la explotación. La REDAGRES (2018) considera que la diversificación reduce esta sensibilidad y amplía la capacidad de respuesta frente a amenazas climáticas.

Sin embargo, los resultados confirman que la diversidad debe analizarse desde una perspectiva funcional. La simple incorporación de un mayor número de especies no garantiza automáticamente el fortalecimiento de la resiliencia. Altieri et al. (2015) destacan que las características de las especies, sus interacciones y las funciones que desarrollan resultan más importantes que su cantidad considerada de forma aislada.

Un sistema diversificado puede generar complementariedades en la utilización de la luz, el agua y los nutrientes, pero también puede producir competencias cuando su diseño no responde a las condiciones locales. Por ello, la selección de especies debe considerar sus ciclos, estructuras radicales, necesidades hídricas y funciones ecológicas. La FAO (2018) reconoce que el diseño agroecológico debe adaptarse a las características ambientales y productivas de cada territorio.

Los hallazgos sobre biodiversidad funcional refuerzan esta interpretación. Los organismos presentes en los sistemas agrícolas participan en procesos como polinización, regulación biológica, descomposición y reciclaje de nutrientes. Altieri et al. (2015) explican que la conservación de estas funciones reduce la necesidad de sustituirlas mediante insumos externos y contribuye a mantener la estabilidad del agroecosistema.

La biodiversidad no representa únicamente un objetivo ambiental, sino también un recurso productivo. Su pérdida puede afectar la fertilidad, la reproducción de los cultivos y el control natural de organismos perjudiciales, aumentando los costos y la dependencia de productos comerciales. La FAO (2018) señala que la diversidad genética, específica y paisajística amplía las opciones disponibles para responder frente al cambio climático.

La redundancia funcional constituye un mecanismo especialmente relevante. La presencia de varias especies capaces de desempeñar funciones semejantes permite conservar determinados procesos cuando uno de los componentes disminuye o desaparece. La REDAGRES (2018) relaciona esta capacidad de sustitución con la posibilidad de absorber perturbaciones sin perder completamente las funciones esenciales del sistema.

No obstante, la literatura todavía presenta dificultades para medir la relación entre biodiversidad funcional y resiliencia. La cuantificación del número de especies resulta insuficiente para determinar cuáles funciones realizan y cómo responden frente a una perturbación. Altieri et al. (2015) plantean que las evaluaciones deben considerar la composición, las interacciones y la contribución efectiva de los organismos al funcionamiento del agroecosistema.

La salud del suelo constituye otro componente central de los resultados. La capacidad para almacenar agua, mantener la disponibilidad de nutrientes y sostener comunidades biológicas influye directamente en la estabilidad productiva. La FAO (2018) reconoce que los cultivos de cobertura, la incorporación de materia orgánica, las rotaciones y la reducción de la perturbación pueden conservar o recuperar estas propiedades.

Esta relación adquiere especial importancia frente al cambio climático. Los suelos degradados presentan menores capacidades de infiltración y almacenamiento, por lo que los cultivos se vuelven más sensibles a sequías y precipitaciones intensas. Altieri et al. (2015) sostienen que la materia orgánica y una estructura estable permiten amortiguar parte de estos efectos y favorecen la recuperación después de eventos adversos.

Los hallazgos muestran que la resiliencia del suelo no depende de una sola propiedad. Sus componentes físicos, químicos y biológicos interactúan para regular la infiltración, el reciclaje de nutrientes y el crecimiento de las raíces. La REDAGRES (2018) considera que esta interacción disminuye la sensibilidad del agroecosistema y mejora su capacidad para mantener las funciones productivas durante períodos críticos.

Los resultados relacionados con la gestión hídrica confirman la interdependencia entre suelo, vegetación y agua. La disponibilidad para los cultivos no depende únicamente de la cantidad de precipitación o del acceso a riego, sino también de la capacidad para infiltrar, almacenar y conservar la humedad. La FAO (2018) destaca que la cobertura vegetal y la materia orgánica contribuyen a reducir la evaporación y la escorrentía.

Esta interpretación demuestra que las estrategias de adaptación frente a la variabilidad climática deben integrar diferentes principios agroecológicos. El manejo del suelo, la diversificación, la cobertura y las tecnologías de captación o distribución del agua producen mejores resultados cuando se articulan. Altieri et al. (2015) señalan que las soluciones deben diseñarse según las condiciones de precipitación, suelo, pendiente y demanda hídrica de cada sistema.

La infraestructura puede mejorar la gestión del agua, pero no reemplaza las funciones ecológicas necesarias para conservarla. Un sistema de riego eficiente puede presentar resultados limitados cuando el suelo se encuentra compactado o permanece sin cobertura. La REDAGRES (2018) propone evaluar conjuntamente los recursos físicos, las prácticas de manejo y las capacidades de los productores para responder a la escasez.

El reciclaje de nutrientes constituye otro principio vinculado con la resiliencia ecológica y económica. La utilización de residuos vegetales, estiércol, compost y leguminosas permite recuperar parte de los nutrientes y mejorar la materia orgánica del suelo. La FAO (2018) reconoce que estos procesos disminuyen las pérdidas y pueden reducir parcialmente la necesidad de fertilizantes adquiridos.

La integración entre producción vegetal y animal fortalece los ciclos internos cuando los residuos de una actividad se convierten en recursos para otra. Los materiales vegetales pueden utilizarse como alimento o cobertura, mientras que los residuos pecuarios pueden reincorporarse al suelo después de un tratamiento apropiado. Altieri et al. (2015) relacionan esta circularidad con una utilización más eficiente de los recursos disponibles.

La reducción de la dependencia externa presenta una relación directa con la resiliencia económica. Los sistemas altamente dependientes de fertilizantes, productos fitosanitarios, semillas comerciales y combustibles pueden enfrentar dificultades cuando aumentan los precios o se interrumpe el suministro. La REDAGRES (2018) considera que la disponibilidad de recursos propios amplía la capacidad para reorganizar las actividades frente a perturbaciones económicas.

Sin embargo, la autonomía no debe interpretarse como aislamiento ni como eliminación absoluta de todos los insumos externos. Los productores continúan necesitando tecnologías, herramientas, mercados y servicios especializados. La FAO (2018) plantea que el objetivo consiste en reducir aquellas dependencias que generan vulnerabilidad y fortalecer la capacidad para decidir qué recursos externos resultan realmente necesarios.

La revisión muestra una mayor concentración de investigaciones sobre los beneficios ambientales de las prácticas agroecológicas y una menor presencia de estudios sobre sus implicaciones económicas. Los costos de transición, los requerimientos de trabajo, la rentabilidad y la estabilidad de los ingresos se evalúan con menor frecuencia. Altieri et al. (2015) reconocen que estas dimensiones deben incorporarse para determinar si las prácticas pueden mantenerse en condiciones productivas reales.

Este vacío limita la comprensión de la resiliencia de los agricultores familiares, quienes frecuentemente enfrentan restricciones de financiamiento, tierra y asistencia técnica. Una práctica puede producir beneficios ecológicos y, al mismo tiempo, exigir una inversión o cantidad de trabajo difícil de asumir. La FAO (2017) sostiene que el fortalecimiento de la resiliencia requiere considerar las capacidades y desigualdades existentes entre productores y territorios.

Los hallazgos relacionados con la regulación biológica también demuestran la importancia de las interacciones ecológicas. Los sistemas diversificados pueden proporcionar hábitats y recursos para depredadores, parasitoides y otros organismos benéficos. Altieri et al. (2015) explican que estas relaciones contribuyen a mantener las plagas por debajo de niveles capaces de ocasionar daños productivos importantes.

La regulación biológica puede disminuir la dependencia de productos fitosanitarios, pero sus resultados dependen de las especies, el cultivo, el paisaje y las condiciones ambientales. Una estrategia eficaz en un sistema puede presentar efectos diferentes en otro territorio. La FAO (2018) reconoce que el manejo debe integrar prevención, monitoreo y medidas adaptadas a las características específicas de cada problema.

Esta variabilidad demuestra que la aplicación de principios agroecológicos requiere experimentación y aprendizaje local. La diversidad no produce necesariamente los mismos efectos en todos los contextos, y determinadas plantas pueden incluso actuar como hospedantes de organismos perjudiciales. La REDAGRES (2018) considera que las prácticas deben evaluarse según las amenazas y vulnerabilidades presentes en cada agroecosistema.

La agroforestería fue una de las estrategias que integró una mayor cantidad de principios agroecológicos. Los sistemas agroforestales pueden articular diversificación, conservación del suelo, regulación hídrica, creación de microclimas y generación de distintos productos. La FAO (2018) destaca que esta multifuncionalidad ofrece posibilidades para combinar adaptación climática, producción y conservación de recursos.

Sin embargo, la agroforestería también demuestra la complejidad del diseño agroecológico. Las relaciones entre árboles, cultivos y animales pueden generar complementariedades o competencias por luz, agua y nutrientes. Altieri et al. (2015) señalan que la selección de especies, la densidad, la distribución espacial y las prácticas de manejo determinan si los beneficios superan las posibles limitaciones.

La integración entre cultivos y animales presenta características semejantes. Estos sistemas pueden mejorar el reciclaje, diversificar los ingresos y aprovechar recursos que se convertirían en residuos dentro de modelos especializados. La REDAGRES (2018) relaciona esta diversidad productiva con una mayor capacidad de compensación cuando una perturbación afecta una actividad determinada.

No obstante, la integración requiere mantener un equilibrio entre los componentes. Una carga animal excesiva puede provocar compactación, degradación y pérdida de cobertura, mientras que un manejo apropiado puede favorecer el reciclaje y el aprovechamiento del forraje. La FAO (2018) reconoce que la capacidad de carga y la disponibilidad de recursos deben orientar las decisiones.

En conjunto, estos hallazgos permiten sostener que la resiliencia se relaciona con la capacidad para desarrollar ciclos internos y reducir pérdidas. Los agroecosistemas que reciclan nutrientes, conservan agua y mantienen mecanismos de regulación presentan menores niveles de dependencia. Altieri et al. (2015) destacan que esta autonomía se construye mediante la integración de procesos ecológicos y decisiones productivas.

La autonomía también depende de la inserción de los agricultores en estructuras económicas, sociales e institucionales. El acceso a mercados, información, financiamiento y servicios continúa siendo necesario para mantener y transformar los sistemas. La FAO (2017) señala que las instituciones y redes de apoyo influyen en la preparación, respuesta y recuperación frente a las perturbaciones.

Esta consideración permite comprender la importancia de los conocimientos tradicionales. Los agricultores han desarrollado prácticas mediante procesos históricos de observación y adaptación a las condiciones territoriales. La selección de variedades, el manejo del agua y la interpretación de indicadores ambientales constituyen capacidades relevantes frente a la incertidumbre climática (Altieri et al., 2015).

La agroecología reconoce la necesidad de integrar los conocimientos científicos y tradicionales. Esta articulación puede generar estrategias mejor adaptadas que las soluciones transferidas sin considerar las características locales. La REDAGRES (2018) destaca que la participación de los productores permite identificar amenazas, seleccionar indicadores y evaluar prácticas desde la experiencia territorial.

Sin embargo, los conocimientos locales continúan recibiendo menor atención que los componentes biofísicos. Son más frecuentes los estudios sobre suelo, agua o biodiversidad que las investigaciones sobre aprendizaje, transmisión y toma de decisiones. La FAO (2017) advierte que la pérdida de capacidades locales puede incrementar la vulnerabilidad de las comunidades y limitar sus alternativas de adaptación.

La organización comunitaria constituye otra dimensión insuficientemente examinada. Las redes de cooperación facilitan el intercambio de semillas, información, trabajo y recursos, además de fortalecer el acceso a mercados y servicios. Altieri et al. (2015) relacionan estas capacidades colectivas con la posibilidad de mantener las actividades y acelerar la recuperación después de una perturbación.

Los planteamientos de la FAO (2017) sobre la resiliencia de las personas, las comunidades y los ecosistemas coinciden con estos resultados. La construcción de sistemas resilientes requiere fortalecer simultáneamente las propiedades ecológicas y las capacidades sociales. Una explotación puede presentar diversidad y buena calidad del suelo, pero continuar siendo vulnerable cuando sus productores carecen de organización, recursos o apoyo institucional.

Otro resultado relevante corresponde a la diversidad conceptual existente en la literatura. Los estudios utilizan términos como resistencia, recuperación, adaptación y transformación, pero estas dimensiones no siempre se encuentran claramente diferenciadas. La REDAGRES (2018) propone analizar estas capacidades de manera complementaria para comprender las distintas formas de respuesta de los agroecosistemas.

La resistencia se manifiesta cuando el sistema mantiene sus funciones durante una perturbación, mientras que la recuperación se refiere al restablecimiento después del impacto. La adaptación implica ajustar prácticas frente a condiciones cambiantes, y la transformación supone modificaciones estructurales cuando el modelo existente deja de ser sostenible. Altieri et al. (2015) señalan que estas capacidades requieren mecanismos ecológicos y sociales diferentes.

La falta de precisión conceptual dificulta la comparación entre investigaciones. Un estudio puede evaluar la estabilidad de los rendimientos y otro analizar cambios institucionales, aunque ambos utilicen el término resiliencia. La FAO (2017) reconoce que la naturaleza multidimensional del concepto exige definir claramente las capacidades, escalas e indicadores examinados.

La resiliencia tampoco debe interpretarse exclusivamente como la capacidad de regresar a las condiciones anteriores. Si el estado previo presentaba vulnerabilidades importantes, su recuperación puede reproducir los mismos riesgos. La FAO (2018) plantea que determinados escenarios climáticos y socioeconómicos requieren procesos de aprendizaje, rediseño y transformación de los sistemas agrícolas.

La heterogeneidad metodológica constituye otro resultado central. Los documentos analizados utilizan diferentes indicadores, escalas y procedimientos, con una elevada presencia de variables productivas y ambientales. En contraste, los indicadores sociales, económicos e institucionales aparecen con menor frecuencia. La REDAGRES (2018) representa un esfuerzo por integrar estas dimensiones mediante evaluaciones adaptadas al contexto.

La medición exclusiva de los rendimientos proporciona una visión limitada. Un sistema puede recuperar rápidamente su producción y, al mismo tiempo, experimentar pérdida de biodiversidad, endeudamiento o debilitamiento organizativo. Altieri et al. (2015) sostienen que las evaluaciones deben integrar estabilidad productiva, conservación de recursos, autonomía y capacidad social.

La participación de los agricultores resulta fundamental dentro de estos procesos. Los indicadores definidos únicamente por investigadores pueden no representar las prioridades, vulnerabilidades y experiencias locales. La REDAGRES (2018) destaca que los métodos participativos permiten incorporar conocimientos territoriales y mejorar la utilidad de las evaluaciones para la toma de decisiones.

Otro vacío importante corresponde a la limitada disponibilidad de estudios longitudinales. La resiliencia se manifiesta a través del tiempo mediante procesos de resistencia, recuperación, adaptación y transformación, pero numerosos estudios examinan períodos relativamente cortos. La FAO (2017) reconoce que las capacidades pueden modificarse después de cada perturbación y mediante los aprendizajes obtenidos.

Las investigaciones longitudinales permitirían determinar si los beneficios atribuidos a las prácticas agroecológicas se mantienen durante varios ciclos productivos. También facilitarían el análisis de efectos acumulativos sobre el suelo, la biodiversidad, los ingresos y la organización. Altieri et al. (2015) consideran que las transiciones agroecológicas deben evaluarse como procesos graduales y no únicamente mediante resultados inmediatos.

La distribución geográfica de la evidencia constituye otra limitación. Determinadas regiones concentran una mayor cantidad de investigaciones, mientras que otras permanecen poco estudiadas. La FAO (2018) destaca que las estrategias deben adaptarse a las condiciones climáticas, ambientales y socioeconómicas, por lo que los resultados obtenidos en un territorio no pueden generalizarse automáticamente.

También se identificó la necesidad de ampliar los estudios comparativos. Aunque existe evidencia sobre diversificación, agroforestería, reciclaje y manejo del suelo, son menos frecuentes las investigaciones que comparan sus efectos relativos bajo condiciones semejantes. La REDAGRES (2018) señala que estas comparaciones requieren considerar la intensidad de las amenazas, las características iniciales y las capacidades de cada sistema.

En conjunto, los resultados demuestran que la construcción de sistemas agrícolas resilientes exige superar las perspectivas centradas en prácticas individuales. La diversificación puede fortalecer la biodiversidad funcional; esta puede mejorar la regulación biológica; la salud del suelo favorece la conservación del agua; y el reciclaje reduce determinadas dependencias. Altieri et al. (2015) explican que la resiliencia emerge precisamente de estas relaciones. Los conocimientos y las organizaciones sociales complementan los mecanismos ecológicos al fortalecer el aprendizaje, la cooperación y la capacidad adaptativa. La FAO (2017) reconoce que la resiliencia de los medios de vida depende de la interacción entre recursos naturales, capacidades humanas y apoyo institucional. Por ello, la agroecología debe analizarse simultáneamente como enfoque ecológico, productivo y social.

La principal contribución del mapeo consiste en mostrar un consenso creciente sobre la necesidad de integrar las dimensiones ecológicas y sociales. Sin embargo, persiste una brecha entre los avances conceptuales y los métodos empleados para evaluar la resiliencia. La REDAGRES (2018) evidencia la posibilidad de avanzar hacia evaluaciones multidimensionales, aunque todavía se necesitan herramientas comparables y adaptables.

Las futuras investigaciones deberán priorizar enfoques interdisciplinarios, longitudinales y participativos capaces de analizar conjuntamente los componentes ambientales, productivos, económicos, sociales e institucionales. También deberán ampliar la evidencia en regiones poco estudiadas y examinar las condiciones necesarias para sostener las prácticas a largo plazo. Altieri et al. (2015) consideran que esta integración resulta indispensable para comprender las capacidades de resistencia, recuperación, adaptación y transformación.

En síntesis, los principios agroecológicos constituyen una base pertinente para fortalecer la resiliencia agrícola, pero sus resultados dependen de la forma en que se combinan y adaptan a cada contexto. La FAO (2018) sostiene que la transición hacia sistemas sostenibles requiere prácticas apropiadas, conocimientos, participación y políticas de apoyo. En consecuencia, el fortalecimiento de la resiliencia no debe reducirse a cambios técnicos, sino entenderse como un proceso de transformación ecológica, productiva, social e institucional.

## 5. CONCLUSIÓN

La presente revisión de alcance permitió mapear y analizar la evidencia disponible sobre los principios agroecológicos aplicados al diseño y manejo de sistemas agrícolas resilientes. Los hallazgos muestran que la resiliencia constituye una propiedad multidimensional y dinámica, determinada por las interacciones entre los componentes ecológicos, productivos, económicos, sociales e institucionales de los agroecosistemas. Por consiguiente, su fortalecimiento no depende de la aplicación aislada de una práctica, sino de la integración de principios que mejoren simultáneamente la diversidad, la autonomía, la capacidad adaptativa y la sostenibilidad de los sistemas productivos.

La diversificación productiva se identificó como uno de los principios agroecológicos con mayor presencia en la literatura y como un componente transversal de la resiliencia agrícola. Las asociaciones de cultivos, las rotaciones, los policultivos, los sistemas agroforestales y la integración entre la producción vegetal y animal permiten distribuir los riesgos, aprovechar de manera complementaria los recursos y disminuir la vulnerabilidad frente a perturbaciones climáticas, biológicas y económicas. No obstante, los beneficios de estas estrategias no dependen exclusivamente del número de especies o actividades incorporadas, sino de las funciones y relaciones de complementariedad que se establezcan entre los diferentes componentes del agroecosistema.

La biodiversidad funcional representa otra dimensión estratégica, debido a que la diversidad genética, específica, funcional y paisajística contribuye al mantenimiento de procesos relacionados con la polinización, la regulación biológica, el reciclaje de nutrientes y la estabilidad productiva. La presencia de organismos capaces de desarrollar funciones complementarias o similares genera mecanismos de compensación frente a las perturbaciones y favorece la continuidad de los procesos ecológicos fundamentales. En este sentido, la conservación de la biodiversidad debe formar parte del diseño productivo y no considerarse únicamente como una medida complementaria de protección ambiental.

La salud del suelo y la gestión del agua también constituyen componentes estrechamente relacionados con la capacidad de respuesta de los sistemas agrícolas. Las prácticas orientadas a conservar la materia orgánica, utilizar cultivos de cobertura, reducir la perturbación mecánica y diversificar las especies pueden mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Estas condiciones favorecen la infiltración y el almacenamiento de agua, disminuyen la erosión, mantienen la disponibilidad de nutrientes y reducen los efectos del estrés hídrico. Por esta razón, las estrategias destinadas a enfrentar las sequías y la variabilidad climática deben integrar el manejo del suelo, el agua y la vegetación dentro de una misma planificación agroecológica.

El reciclaje de nutrientes, la regulación biológica y la reducción de la dependencia de insumos externos fortalecen tanto la resiliencia ecológica como la económica. El aprovechamiento de residuos vegetales y pecuarios, la incorporación de materia orgánica, la integración entre cultivos y animales y la utilización de procesos biológicos permiten cerrar parcialmente los ciclos de nutrientes y disminuir la exposición de los productores a las fluctuaciones de precios o a las interrupciones en el suministro de insumos. De forma complementaria, los sistemas diversificados y la conservación de organismos benéficos pueden favorecer el control natural de plagas y enfermedades, aunque su efectividad depende de las condiciones ecológicas y productivas de cada territorio.

Los sistemas agroforestales y la integración de cultivos y animales presentan un potencial particularmente relevante porque articulan varios principios agroecológicos dentro de una misma unidad productiva. La presencia de árboles puede contribuir a la generación de microclimas, la protección del suelo, la regulación hídrica, el incremento de la biodiversidad y la diversificación de los productos e ingresos. Del mismo modo, la articulación entre actividades agrícolas y pecuarias facilita el aprovechamiento de residuos y el reciclaje de nutrientes. Sin embargo, estas estrategias requieren una planificación adecuada para evitar relaciones de competencia, sobreexplotación de los recursos o desequilibrios derivados de una selección inadecuada de especies y cargas productivas.

La revisión también permitió reconocer que la resiliencia agrícola no depende únicamente de las propiedades biofísicas de las explotaciones. Los conocimientos tradicionales, el aprendizaje colectivo, la organización comunitaria y las redes de cooperación influyen en la capacidad de los productores para interpretar los cambios ambientales, movilizar recursos y desarrollar respuestas frente a situaciones adversas. La integración del conocimiento científico con los

saberes locales puede favorecer el diseño de estrategias más pertinentes, mientras que las organizaciones de productores y las redes comunitarias pueden facilitar el intercambio de semillas, experiencias, tecnologías y mecanismos de comercialización.

En respuesta a la pregunta que orientó la revisión, se concluye que la evidencia disponible reconoce un conjunto amplio e interrelacionado de principios agroecológicos capaces de fortalecer la resistencia, adaptación, recuperación y transformación de los sistemas agrícolas. Entre ellos destacan la diversificación productiva, la conservación de la biodiversidad funcional, el fortalecimiento de la salud del suelo, la gestión eficiente del agua, el reciclaje de nutrientes, la regulación biológica, la agroforestería, la integración de cultivos y animales, la reducción de insumos externos, la recuperación de conocimientos tradicionales y el fortalecimiento de la organización social. La contribución de estos principios depende de su articulación dentro de diseños adaptados a las condiciones ecológicas, productivas y socioculturales de cada territorio.

No obstante, la literatura presenta una considerable heterogeneidad conceptual y metodológica. Los estudios utilizan distintas definiciones de resiliencia, escalas de análisis, variables e indicadores, y no siempre diferencian con claridad la resistencia, la recuperación, la adaptación y la transformación. Además, existe un predominio de investigaciones centradas en dimensiones ecológicas y productivas, mientras que los componentes económicos, sociales e institucionales han recibido menor atención. Estas limitaciones dificultan la comparación entre estudios y restringen la comprensión integral de los factores que determinan la resiliencia de los agroecosistemas.

La limitada disponibilidad de estudios longitudinales constituye otro vacío importante, dado que la resiliencia se manifiesta y evoluciona a través del tiempo. Las investigaciones realizadas durante períodos breves pueden ofrecer una comprensión parcial de los procesos de respuesta, adaptación y recuperación. En consecuencia, se requieren estudios interdisciplinarios y prolongados que integren indicadores ecológicos, productivos, económicos, sociales e institucionales. También resulta necesario ampliar la investigación en regiones y sistemas productivos escasamente representados e incorporar metodologías participativas que reconozcan las experiencias, los conocimientos y las prioridades de los agricultores.

En términos prácticos, los hallazgos demuestran que la construcción de sistemas agrícolas resilientes debe superar la promoción de prácticas aisladas. La transición agroecológica requiere procesos graduales e integrales de rediseño de las relaciones entre suelo, agua, biodiversidad, cultivos, animales y comunidades. Para facilitar esta transformación, las políticas públicas deberán articular investigación, asistencia técnica, financiamiento, educación y fortalecimiento institucional, reconociendo la diversidad territorial y evitando la aplicación de soluciones estandarizadas que no respondan a las condiciones locales.

Finalmente, la agroecología proporciona una base científica, productiva y social relevante para avanzar hacia sistemas agrícolas capaces de resistir, adaptarse, recuperarse y transformarse frente a diferentes perturbaciones. Sin embargo, el fortalecimiento de la resiliencia exige comprender los agroecosistemas como sistemas socioecológicos complejos y dinámicos. El futuro de la agricultura resiliente dependerá, por tanto, de la capacidad para integrar diversidad biológica, procesos ecológicos, autonomía productiva, conocimientos locales, cooperación social e instituciones sólidas dentro de estrategias territoriales orientadas simultáneamente hacia la adaptación climática, la sostenibilidad y la seguridad alimentaria.

Principio del formulario

Final del formulario

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). Strategic work of FAO to increase the resilience of livelihoods. <https://www.fao.org/3/i6463e/i6463e.pdf>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018a). Scaling up agroecology initiative: Transforming food and agricultural systems in support of the SDGs. <https://www.fao.org/3/i9049en/i9049en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018b). The 10 elements of agroecology: Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems. <https://www.fao.org/3/i9037en/i9037en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). Agroecology Knowledge Hub. <https://www.fao.org/agroecology/en/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- McGowan, J., Sampson, M., Salzwedel, D. M., Cogo, E., Foerster, V., & Lefebvre, C. (2016). PRESS peer review of electronic search strategies: 2015 guideline statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, 75, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2016.01.021>
- Meuwissen, M. P. M., Feindt, P. H., Spiegel, A., Termeer, C. J. A. M., Mathijs, E., de Mey, Y., Finger, R., Balmann, A., Wauters, E., Urquhart, J., Vigani, M., Zawalińska, K., Herrera, H., Nicholas-Davies, P., Hansson, H., Paas, W., Slijper, T., Coopmans, I., Vroege, W., ... Reidsma, P. (2019). A framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems*, 176, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>
- Munn, Z., Peters, M. D. J., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology*, 18, 143. <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>
- Nguyen, H., & Neven, D. (2018). Sustainable food systems: Concept and framework. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/ca2079en/ca2079en.pdf>
- Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2012). Estrategias agroecológicas para incrementar la resiliencia. *LEISA Revista de Agroecología*, 28(2), 14–17. <https://leisa-al.org/web/revista/volumen-28-numero-02/estrategias-agroecologicas-para-incrementar-la-resiliencia/>
- Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2018). Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(10), 1170–1193. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1499578>
- Nicholls, C. I., Altieri, M. A., & Vázquez, L. L. (2016). Agroecology: Principles for the conversion and redesign of farming systems. *Journal of Ecosystem & Ecography*, S5, 010. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.S5-010>
- Nicholls, C. I., Ríos, L. A., & Altieri, M. A. (Eds.). (2013). Agroecología y resiliencia socioecológica: Adaptándose al cambio climático. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1310755/>
- Oliver, T. H., Boyd, E., Balcombe, K., Benton, T. G., Bullock, J. M., Donovan, D., Feola, G., Heard, M., Mace, G. M., Mortimer, S. R., Nunes, R. J., Pywell, R. F., & Zaum, D. (2018). Overcoming undesirable resilience in the global food system. *Global Sustainability*, 1, e9. <https://doi.org/10.1017/sus.2018.9>
- Paas, W., Coopmans, I., Severini, S., van Ittersum, M. K., Meuwissen, M. P. M., & Reidsma, P. (2021). Participatory assessment of sustainability and resilience of three specialized farming systems. *Ecology and Society*, 26(2), 2. <https://doi.org/10.5751/ES-12200-260202>
- Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A. C., & Khalil, H. (2020). Chapter 11: Scoping reviews. En E. Aromataris & Z. Munn (Eds.), *JBIM manual for evidence synthesis*. JBI. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12>

- Sinclair, F., Wezel, A., Mbow, C., Chomba, S., Robiglio, V., & Harrison, R. (2019). The contributions of agroecological approaches to realizing climate-resilient agriculture. Global Commission on Adaptation. <https://gca.org/reports/the-contributions-of-agroecological-approaches-to-realizing-climate-resilient-agriculture/>
- Tittonell, P. (2020). Assessing resilience and adaptability in agroecological transitions. *Agricultural Systems*, 184, 102862. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102862>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., ... Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467–473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Wezel, A., Gemmill Herren, B., Bezner Kerr, R., Barrios, E., Rodrigues Gonçalves, A. L., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40, 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
- Zollet, S., Colombo, L., De Meo, P., Marino, D., McGreevy, S. R., McKeon, N., & Tarra, S. (2021). Towards territorially embedded, equitable and resilient food systems? Insights from grassroots responses to COVID-19 in Italy and the City Region Food Systems approach. *Sustainability*, 13(5), 2425. <https://doi.org/10.3390/su13052425>

## CONSIDERACIONES ÉTICAS

El presente estudio se llevó a cabo de conformidad con los principios éticos que rigen la investigación con participantes humanos. Antes de la recolección de los datos, el protocolo de investigación fue revisado y aprobado por el comité de ética institucional correspondiente. Todos los participantes fueron informados de manera clara sobre los objetivos del estudio, los procedimientos, las posibles implicaciones y el carácter voluntario de su participación, otorgando posteriormente su consentimiento informado. Durante todo el proceso de investigación se garantizó la confidencialidad de la información, el anonimato de los participantes y el uso exclusivo de los datos recopilados con fines científicos y académicos.

## DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

Los autores declaran que la herramienta de inteligencia artificial generativa ChatGPT fue utilizada exclusivamente para la traducción al idioma inglés y la revisión lingüística del manuscrito. Esta herramienta no contribuyó a la concepción del estudio, el diseño de la investigación, la recolección de datos, el análisis estadístico, la interpretación de los resultados ni a la elaboración de las conclusiones. Los autores asumen la plena responsabilidad por la originalidad, exactitud, integridad y validez científica del contenido presentado en este manuscrito.

## FINANCIAMIENTO

La presente investigación no recibió subvenciones, becas ni apoyo financiero específico por parte de organismos públicos, entidades comerciales u organizaciones sin fines de lucro.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses de carácter financiero, personal, profesional o institucional que hayan podido influir en el desarrollo, los resultados o la publicación de esta investigación.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Nombres de

autores e iniciales:

Christian Iván Montatixe Sánchez (CIMS)

Funciones desempeñadas por cada autor:

Conceptualización: (CIMS)

Curación de datos: (CIMS)

Análisis formal: (CIMS)

Montatixe Sánchez

Adquisición de fondos: (CIMS)

Investigación: (CIMS)

Metodología: (CIMS)

Administración del proyecto: (CIMS)

Recursos: No Aplica

Software: (CIMS)

Supervisión: (CIMS)

Validación: (CIMS)

Visualización: (CIMS)

Redacción – Borrador original: (CIMS)

Redacción – Revisión y edición: (CIMS)