



Review [Revisión]

RESILIENCIA SOCIOECOLÓGICA: CONCEPTO CLAVE PARA EL ESTUDIO DE LA SUSTENTABILIDAD EN AGROECOSISTEMAS †

[SOCIAL-ECOLOGICAL RESILIENCE: A KEY CONCEPT FOR THE STUDY OF SUSTAINABILITY IN AGROECOSYSTEMS]

José Luis Landa-Ochoa¹, Felipe Gallardo-López²,
Esteban Escamilla-Prado³, Carlos Roberto Cerdán-Cabrera¹
and Gustavo Celestino Ortiz-Ceballos^{1*}

¹Facultad de Ciencias Agrícolas-Xalapa, Universidad Veracruzana. Circuito Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria, CP. 91000, Xalapa, Veracruz, México. Email: zs20022707@estudiantes.uv.mx, gusortiz@uv.mx*, ccerdan@uv.mx

²Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Carr. Xalapa Veracruz 140, CP. 91700 Veracruz, México. Email: felipegl@colpos.mx

³Centro Regional Universitario Oriente. Universidad Autónoma Chapingo CP. 94100 Km 6 carretera Huatusco-Xalapa, Huatusco, Veracruz, México. Email: espreschoca@yahoo.com.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. In order to achieve food security and sustainability in society, current research focused on the evaluation of socio-ecological resilience (SER) of agroecosystems (AES), applies various methodological frameworks to address challenges arising from climate change and the deterioration of natural resources. **Objective.** To review the state of the art on the concept of socio-ecological resilience to identify and analyze the methodological frameworks, attributes, indicators, and indices applied to measure the degree of resilience currently presented in various AES models. **Methodology.** Publications from 1998 to 2022 were reviewed from the Dialnet, SciELO, Redalyc databases, and the Google Scholar search engine. 62 publications were selected that included the term socio-ecological resilience associated with the words "definition," "concept," "agroecosystem," and "indicators." The criteria considered were the presence or absence of the concept, the SCImago Journal Rank (SJR) indicator, as well as clarity and precision. The documents were analyzed with Nvivo 12 Pro software, applying the word frequency analysis technique. **Main Results.** Colombia (18), Mexico (14), the United States (7), and Sweden (5) stand out with the highest number of publications, respectively and the authors Holling (19%) as the main driver of ecological resilience, Folke (16%) emphasized the importance of SER research, Gunderson (10%) pioneered resilience in socio-ecological systems, while Berkes (9.5%) and Walker (9%) excelled in applied SER research. Methodological frameworks that attempted to operationalize the concept were the framework for assessing the management of natural resource systems incorporating sustainability indicators (MESMIS), the resilience approach, the holistic risk index (HRI), and the methodology for assessing socio-ecological resilience (MERS). Furthermore, eight publications that mentioned the term socio-ecological resilience identified its main attributes as external disturbance (21.1%), adaptive capacity (18.4%), self-organization capacity (18.4%), stability domain or attraction (15.8%), and resistance (5.3%). It was also revealed that the most suitable indicators for measuring socio-ecological resilience are dependence on external inputs, organic certification, the presence of drought-tolerant species, vulnerability to extreme climatic events, agrobiodiversity, and levels of productive organization. **Implications.** Deriving suitable attributes and indicators to measure the level of socio-ecological resilience will depend on the political, economic, social, ecological context, and the spatial and temporal scale of the study. **Conclusion.** This review shows evidence on the research efforts carried out by the scientific community to develop methodological frameworks that contribute to assess the SER of the various agricultural production models and particularly, the AES that face greater risks associated with climate change. **Key words:** Agroecosystems; disturbances; emergent properties; monitoring.

† Submitted January 31, 2023 – Accepted November 28, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4758>



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

ISSN: 1870-0462.

ORCID = JL Landa-Ochoa: <https://orcid.org/0000-0002-0555-2678>; GC Ortiz-Ceballos: <https://orcid.org/0000-0002-4979-0520>; F Gallardo-López: <https://orcid.org/0000-0003-1490-4919>; E Escamilla-Prado: <https://orcid.org/0000-0002-6602-7033>; CR Cerdán-Cabrera: <https://orcid.org/0000-0002-0498-2617>

RESUMEN

Antecedentes. Con la finalidad de alcanzar la seguridad alimentaria y sustentabilidad en la sociedad, las investigaciones actuales enfocadas a la evaluación de la resiliencia socioecológica (RSE) de los agroecosistemas (AES), aplican diversos marcos metodológicos para abordar los desafíos derivados del cambio climático y del deterioro de los recursos naturales. **Objetivo.** Revisar el estado del arte sobre el concepto de resiliencia socioecológica para identificar y analizar los marcos metodológicos, atributos, indicadores e índices aplicados para medir el grado de resiliencia que presentan en la actualidad los diversos modelos de AES. **Metodología.** Se revisaron publicaciones de 1998 al 2022 contenidas en las bases de datos Dialnet, SciELO, Redalyc y del buscador de Google Académico. Se eligieron 62 publicaciones que incluyeron el término resiliencia socioecológica asociada a las palabras “definición”, “concepto”, “agroecosistema” e “indicadores”. Los criterios considerados fueron presencia o ausencia del concepto, del indicador SCImago Journal Rank (SJR), así como su claridad y precisión. Los documentos se analizaron con el software Nvivo 12 Pro, aplicando la técnica de análisis de frecuencia de palabras. **Resultados.** Colombia (18), México (14), Estados Unidos (7) y Suecia (5) sobresalen con el mayor número de publicaciones respectivamente y los autores Holling (19%) como principal impulsor de la resiliencia ecológica, Folke (16%) remarca la importancia de las investigaciones en RSE, Gunderson (10%) como pionero de la resiliencia en sistemas socioecológicos, Berkes (9.5%) y Walker (9%) destacan en investigaciones aplicadas de RSE. En este sentido los marcos metodológicos que intentan operacionalizar el concepto fueron el marco de evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS), el enfoque de resiliencia, el índice holístico de riesgo (IHR) y la metodología para evaluar la resiliencia socioecológica (MERS). Además, ocho publicaciones que presentaron el término de resiliencia socioecológica, mencionan que sus atributos principales son la perturbación externa (21.1%), capacidad adaptativa (18.4%), capacidad de autoorganización (18.4%), dominio de estabilidad o atracción (15.8%) y resistencia (5.3%). Se reveló también que los indicadores más adecuados para medir la resiliencia socioecológica son: dependencia de insumos externos, certificación orgánica, presencia de especies tolerantes a sequías, vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, agrobiodiversidad y niveles de organización productiva. **Implicaciones.** La derivación de los atributos e indicadores adecuados para medir el nivel de resiliencia socioecológica dependerá del contexto político, económico, social, ecológico y de la escala espacial y temporal en que se realice el estudio. **Conclusión.** Esta revisión muestra evidencias sobre los esfuerzos de investigación realizados por la comunidad científica para desarrollar marcos metodológicos que contribuyan a evaluar la RSE de los diversos modelos de producción agrícola y particularmente, de los AES que enfrentan mayores riesgos asociados al cambio climático.

Palabras claves: Agroecosistemas; perturbaciones; propiedades emergentes; monitoreo.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la investigación científica encaminada a lograr la seguridad alimentaria y la sustentabilidad de la actual y futura sociedad, tiene como eje nodal la evaluación de la resiliencia socioecológica (RSE) de los agroecosistemas (AES) para comprender y responder a los desafíos del cambio climático y del deterioro de los recursos naturales (Salas-Zapata *et al.*, 2011b; Salas-Zapata *et al.*, 2012; Montalba *et al.*, 2013; Acevedo-Osorio *et al.*, 2017; Quiroz *et al.*, 2021).

Desde una perspectiva sistémica, un AES se considera un sistema abierto de producción primaria en la cadena de abasto alimentaria, en donde se establece el manejo humano para su aprovechamiento, su análisis debe ser multidimensional y realizarse a través del estudio de sus propiedades emergentes de productividad, estabilidad, resiliencia y equidad (Conway, 1987; Platas-Rosado *et al.*, 2017). Estas propiedades habilitan la posibilidad de evaluar la sustentabilidad de un AES con el fin de diseñar estrategias de manejo que mejoren su desempeño. En este sentido la sustentabilidad es definida como la capacidad de un AES para mantener a largo plazo y a un nivel específico su productividad ante una contingencia, en el entendido que sustentabilidad también implica mantener la capacidad de los sistemas ecológicos

para sustentar los sistemas sociales y económicos (Berkes *et al.*, 2003). Algunos autores incorporan con énfasis el concepto de resiliencia para la medición de la sustentabilidad la cual definen como la capacidad de retorno al estado de equilibrio o de mantenimiento del potencial productivo de los AES (Conway, 1987; Hünneimyer *et al.*, 1997; Sarandón, 2002; Toro-Mújica, 2011; Quiroz *et al.*, 2021). Lo anterior, dependerá de la capacidad de los sistemas ecológicos y socioeconómicos para hacer frente a problemas ambientales de orden global y de cambios en políticas de ámbito público e internacional implicando la habilidad de crear, probar y mantener su capacidad adaptativa (Holling 2001; Milestad y Darnhofer, 2003).

Considerando lo anterior, se puede interpretar a la RSE como la cantidad de perturbación que un sistema puede absorber y aún permanecer dentro del mismo régimen productivo, capaz de autoorganizarse y aumentar su capacidad adaptativa (Folke *et al.*, 2006). Además se deduce, que este concepto integra los atributos claves que posibilitan el estudio dinámico de los sistemas socioecológicos y siendo está la unidad en que fundamenta sus principios el desarrollo sustentable. Existe entonces la posibilidad de considerar a la RSE como una de las principales propiedades de los AES sustentables (Salas-Zapata *et al.*, 2012). En este sentido, los estudios reportados sobre la RSE en AES sugieren

que se deben evaluar las externalidades positivas o negativas tales como la conservación o degradación potencial del medio ambiente (Chopin *et al.*, 2021) y hacer énfasis en la obtención de información relacionada con el impacto ambiental de los diferentes modelos de producción agrícola.

Existe consenso por la comunidad académica al señalar que identificar y operacionalizar indicadores para evaluar la RSE en los AES representa un verdadero reto para cualquier investigación. Por lo que el objetivo del presente estudio, fue hacer una revisión del concepto de RSE que posibilite la identificación de los marcos metodológicos, sus atributos, indicadores e índices que permitan medir el grado de resiliencia que presentan en la actualidad los diversos modelos de AES.

MATERIALES Y MÉTODO

Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Dialnet, SciELO, Redalyc y en el buscador de Google Académico en marzo del 2022. Fueron utilizadas las palabras claves “resiliencia” “socioecológica” en español y para el idioma inglés “social-ecological resilience” y “socioecological” arrojando un total de 18,187 publicaciones que los buscadores encontraron entre los años 1998 y 2022. De las investigaciones encontradas se eligieron las asociadas a las palabras “definición”, “concepto”, “agroecosistema” e “indicadores” detectando un total de 39 publicaciones.

Con las publicaciones elegidas en los buscadores de Dialnet (12), SciELO (10), Redalyc (7) y Google Académico (10) se seleccionaron de sus referencias otras 23 publicaciones que fueron consideradas para conformar una base de datos final con 62 publicaciones (N=62). Posteriormente se les aplicó una estadística descriptiva para ordenarlas de acuerdo al nombre del autor, la presencia o ausencia del concepto de RSE, el año, título, nombre de la revista, indicador SCImago Journal Ranking (SJR), así como el país donde se realizó la investigación.

Con la base de 62 publicaciones, se llevó a cabo la selección del concepto de RSE por medio de tres filtros. En el primero fueron detectadas 37 publicaciones que incluyeron en su contenido dicho concepto; en el segundo se utilizó el indicador de calidad de la publicación científica SJR, identificando 17 artículos que presentaron entre 0.13 hasta 3.15 de este indicador; finalmente en el tercero se eligieron ocho publicaciones que mostraron el mayor indicador SJR que expresaron y referenciaron de forma puntual el concepto de RSE en el escrito.

Las publicaciones se analizaron utilizando el programa de Excel Office 16 para el análisis y conteo de documentos publicados de RSE por trienio y por país. También se empleó el software Nvivo 12 Pro de Windows para la aplicación de la técnica de análisis de frecuencia de palabras (Rodríguez-

Orozco *et al.*, 2021) en las 62 publicaciones, indicando los autores citados y mencionados que abordaron el concepto de RSE. Además, este software, fue aplicado a los ocho conceptos de RSE expresados, referenciados de manera puntual y con mayor indicador SJR, obteniendo datos cuantitativos de sus atributos principales. Posteriormente se aplicó un análisis textual a las 62 publicaciones seleccionadas y se obtuvieron las definiciones de los atributos identificados con sus respectivos indicadores, variables, índices y marcos metodológicos que permiten valorizar la RSE en los AES.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relevancia mundial de la investigación en resiliencia socioecológica

El concepto de RSE, se aplica en diversos ámbitos del conocimiento y especialmente en investigaciones relacionadas con agroecosistemas sustentables. Las publicaciones que reportan la conceptualización del término y particularmente su aplicación en la evaluación de los sistemas agrícolas, han mostrado una tendencia de aumento desde 1998 al 2021 y destaca el trienio 2016-2018 con 15 investigaciones sobre la RSE desde una perspectiva agroecosistémica (Figura 1).

El número de publicaciones en estudios de RSE difieren entre países, Colombia ocupa la primera posición con 18 investigaciones relacionadas a la temática, en segundo lugar, México con 14 publicaciones, seguido de Estados Unidos con siete publicaciones y Suecia con cinco estudios (Figura 2).

Entre los autores más citados, destaca el ecólogo canadiense C.S. Holling (19%) como el principal impulsor de la resiliencia ecológica, seguido del científico ambiental sueco Carl Folke (16%) quien enfatiza la importancia de la RSE como el sostén del desarrollo en un mundo cambiante; posteriormente el científico norteamericano Lance H. Gunderson (10%) como pionero de la resiliencia en sistemas socioecológicos (SSE), seguido de los ecólogos Fikret Berkes (9.5%) y Walker (9%) que destacan en el desarrollo de investigaciones aplicadas en RSE. Finalmente, el ecólogo norteamericano Stephen Carpenter (8%), que enfatiza la importancia de operacionalizar el concepto de resiliencia en SSE (Figura 3).

El origen de la resiliencia socioecológica en investigaciones básicas

El concepto de resiliencia fue asociado a diversas disciplinas como la física, la psicología, ingeniería y antropología (Salas-Zapata *et al.*, 2011b; Romagosa *et al.*, 2013). Posteriormente fue introducido a la literatura ecológica por Holling (1973), quien definió a la resiliencia ecológica como el nivel de perturbación que un ecosistema podría resistir, sin

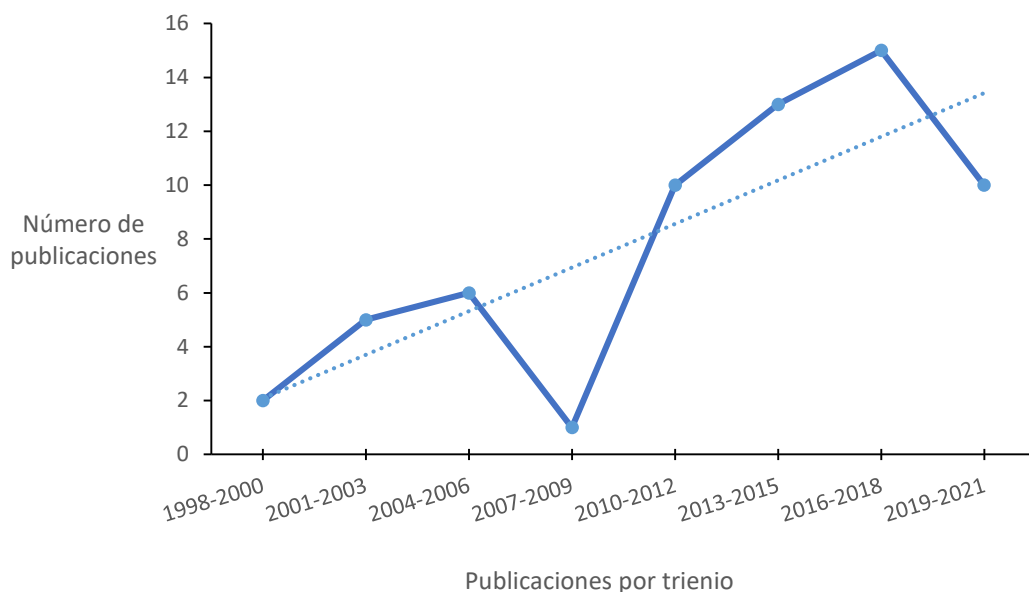


Figura 1. Número de publicaciones por trienio (1998-2021) sobre el concepto de RSE a nivel mundial (Esta gráfica fue elaborada con la base de datos sobre el número de publicaciones que abordan la RSE en agroecosistemas).

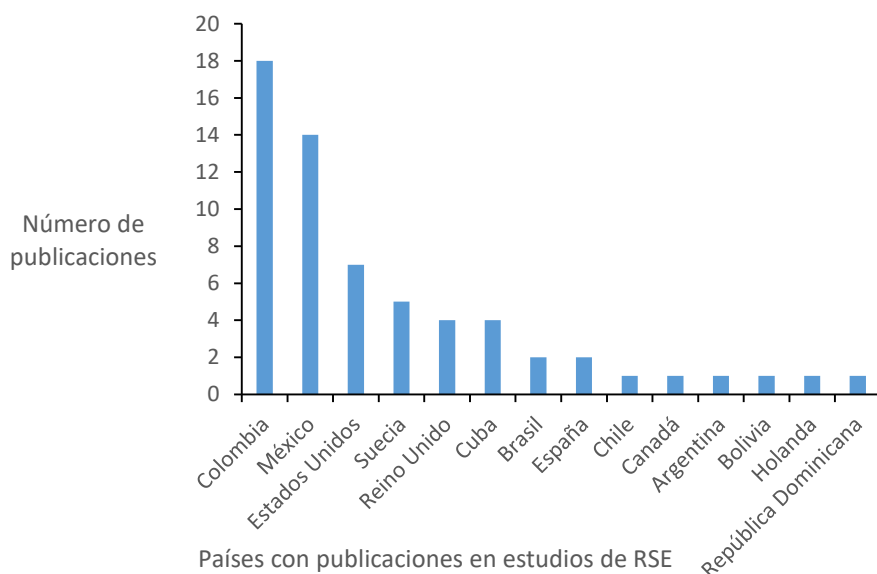


Figura 2. Numero de publicaciones en países con estudios de RSE durante el periodo 1998-2021.

cambiar sus procesos y estructuras autoorganizadas. Más adelante, dicho concepto se empieza a utilizar para incluir las actividades humanas e involucran la acción de controlar la variabilidad en los procesos claves de un ecosistema, integrándose así a la resiliencia social, la diversidad de estrategias antropogénicas que contribuyen a la resiliencia ecológica (Gunderson, 2000). En consecuencia, se admite que la resiliencia mantiene una fuerte relación entre el ecosistema y la acción humana, siendo esta relación la temática central de la teoría de los sistemas complejos e integrándose a la teoría científica actual para contribuir a explicar el funcionamiento de los SSE (Morín, 1990; Pereira, 2017). En este sentido; Carpenter *et al.* (2001),

afirman que la resiliencia debe ser evaluada desde un sistema socioecológico dinámico, tomando en cuenta el cambio constante de los subsistemas involucrados. Esto significa que el enfoque en el manejo de los AES basados en incrementos lineales, graduales y de eficiencia, debe evolucionar hacia una transformación en donde los SSE puedan mantener su resiliencia por medio de la flexibilidad social (Holling, 2001); es decir, intensificar el aumento de la resiliencia mediante la construcción y transmisión cultural del conocimiento ecológico de los sistemas tradicionales pero apoyados de manera simultánea en la innovación y adaptación (Carpenter *et al.*, 2001).

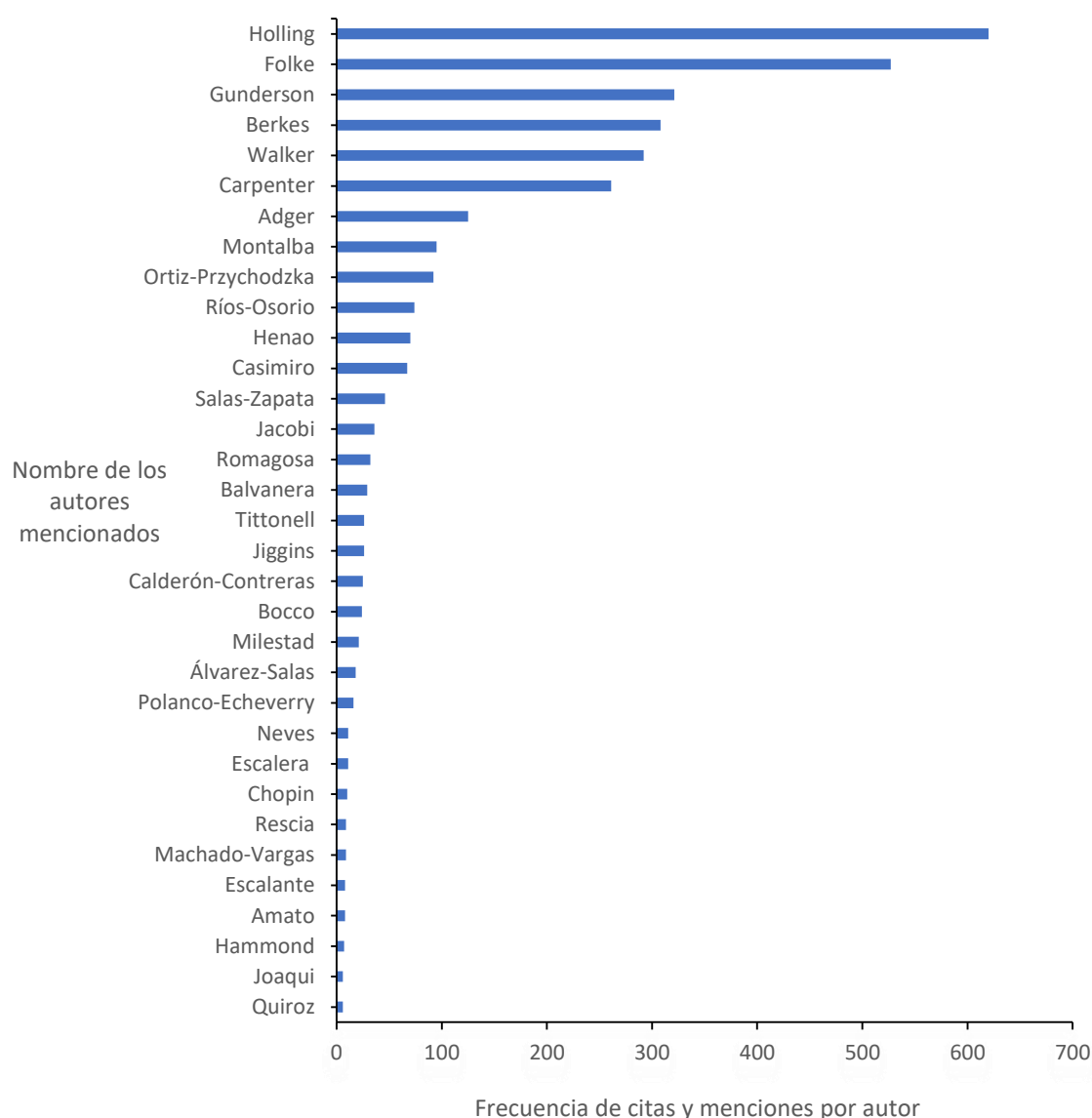


Figura 3. Principales autores que abordan el concepto de RSE durante el periodo 1998-2021.

Estas investigaciones interesadas en la evaluación de la resiliencia de los SSE proporcionan evidencia de la estrecha relación entre ambas. Lo que permitió el surgimiento del concepto que hoy conocemos como RSE y que coincide con las tres características que la representan: a) La cantidad de perturbación que el sistema puede absorber para mantener el dominio de estado o régimen, b) la capacidad de autoorganización y c) la capacidad adaptativa relacionada a la innovación y aprendizaje (Carpenter *et al.*, 2001; Folke *et al.*, 2002; Berkes *et al.*, 2003; Folke *et al.*, 2006; Salas-Zapata *et al.*, 2012). Estas características identifican a la RSE como una propiedad esencial para evaluar los sistemas sustentables que rigen la trayectoria de los AES y que sugiere el monitoreo de magnitudes de latitud, resistencia, precariedad y panarquía, entre otros; permitiendo identificar sistemas inestables de baja sustentabilidad o transformabilidad de las estructuras ecológicas, sociales o económicas

existentes (Walker *et al.*, 2004; Quiroz *et al.*, 2021) (Tabla 1).

En este contexto surge la RSE, como una propiedad emergente que contrarresta la propagación del analfabetismo ecológico, con la comprensión de la dinámica de los ecosistemas e incorpora ese conocimiento a los usuarios y grupos sociales interesados (Folke *et al.*, 2002). Con tal objeto la operatividad de la RSE se implanta a través del análisis de la capacidad para absorber perturbaciones, propiciando la conservación e incremento de la diversidad, enfrentando cuestiones socioeconómicas y en este mundo cambiante, integrando estrategias y políticas de desarrollo sostenible (Salas-Zapata *et al.*, 2011a). Esta postura es un indicativo de que la RSE no solo debe entenderse y comprenderse a diferentes escalas espaciales y temporales, sino que además debe aplicarse y fomentarse activamente mediante el fortalecimiento tanto de las redes sociales como de

los sistemas de gobernanza multinivel y de su capital social, posibilitando amortiguar los riesgos asociados al cambio climático, al brote de enfermedades, a demandas del mercado global y a las políticas públicas e internacionales para mejorar la capacidad de adaptación a perturbaciones de índole social, económica y ambiental (Adger *et al.*, 2005; Folke *et al.*, 2006).

Principales atributos que caracterizan a la resiliencia socioecológica

Se identifica un esfuerzo creciente en la indagación de los atributos que caracterizan a la RSE. En diversos estudios, este concepto se ha utilizado más como una construcción teórica social que como un concepto operativo. Las investigaciones básicas recomiendan tener claro el marco conceptual, precisando los atributos generales de la resiliencia como una fase intermedia para poder hacer operativo dicho concepto (Nicholls y Altieri, 2017). Esto permite desarrollar un marco de referencia para la derivación de indicadores de la RSE que se pueden aplicar a los AES (Masera *et al.*, 1999). Por consiguiente y de acuerdo con los conceptos identificados en artículos publicados en revistas SJR, se deduce que los atributos principales que permiten evaluar la RSE son la perturbación con el 21.1%; capacidad adaptativa con un 18.4%; la capacidad de autoorganización igualmente con 18.4%; dominio de estabilidad o atracción con 15.8% y presentando el

5.3% de forma individual los atributos de resistencia, transformabilidad y panarquía (Figura 4).

Perturbación: este término puede definirse como un evento o disturbio más o menos discreto en el tiempo y el espacio, que altera la estructura de las poblaciones, comunidades o del agroecosistema generando cambios en la disponibilidad de recursos en el ambiente físico, dichos cambios pueden ser de tipo social, económico y ecológico. Entre los sociales se considera a las recesiones, cambios tecnológicos y revoluciones, pero también puede comprender a los de tipo socioeconómico como la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio en países conocidos por su producción agropecuaria, incertidumbre de precios, políticas agropecuarias y de aspectos ecológicos como la entrada de un huracán, incendios, enfermedades, acceso al agua, sequías extremas en AES de temporal hasta variaciones climáticas (Berkes *et al.*, 2003; Folke, 2006; Resilience Alliance, 2010; Salas-Zapata *et al.*, 2011a; Calderón-Contreras, 2017). Además, existen dos tipos de perturbaciones, de pulso y presión, la primera ocurre como un evento relativamente discreto en el tiempo, mientras que en la segunda es gradual y acumulativa. Las investigaciones de ambas deben enfocarse en el estudio de la variabilidad natural de los SSE, generando información que permita comprender el régimen o patrón de las perturbaciones con el objetivo de adaptarse a las nuevas condiciones e incrementar la RSE en los AES (Resilience Alliance, 2010).

Tabla 1. Conceptualización y atributos principales de RSE reportados en publicaciones científicas con presencia de indicador de calidad SCImago Journal Rank (SJR).

Número de concepto	Autores	Indicador SJR	Conceptualización	Atributos de resiliencia socioecológica
1	Carpenter <i>et al.</i> , 2001	1.64	Es la capacidad de resistencia a perturbaciones de tipo multifactorial en sistemas socioecológicos, que mantienen el dominio de estabilidad mediante la autoorganización y la capacidad adaptativa.	Perturbación o evento
2	Folke <i>et al.</i> , 2002	1.56		Capacidad adaptativa
3	Berkes <i>et al.</i> , 2003	2.89		Capacidad de autoorganización
4	Walker <i>et al.</i> , 2004	1.53		Dominio de estabilidad o de atracción
5	Folke <i>et al.</i> , 2006	3.15		Resistencia
6	Salas-Zapata <i>et al.</i> , 2011a	0.17		
7	Salas-Zapata <i>et al.</i> , 2012	0.52		
8	Quiroz, <i>et al.</i> , 2021	0.22		

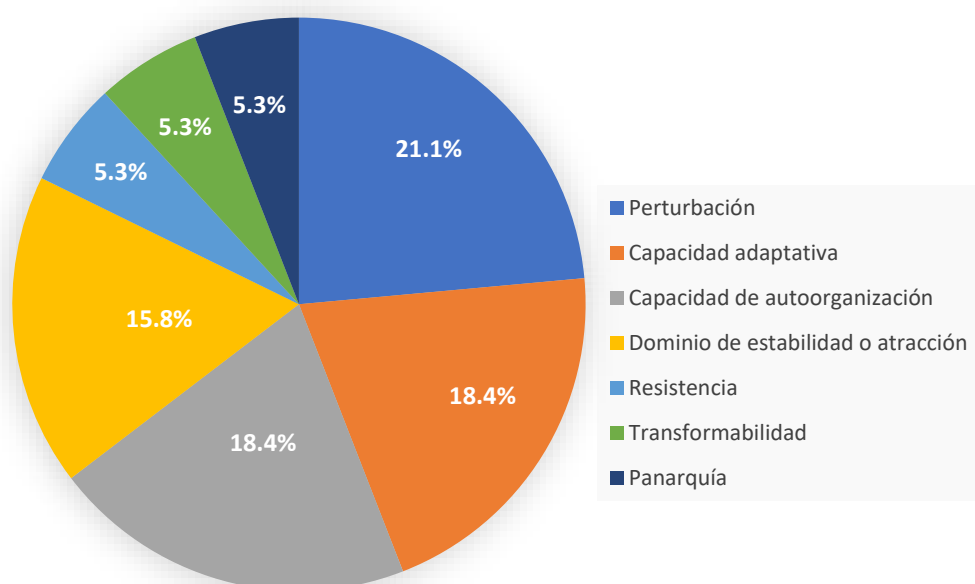


Figura 4. Atributos de resiliencia socioecológica identificados en las ocho publicaciones seleccionadas durante el periodo 1998-2021.

Capacidad adaptativa: es la propiedad de los SSE para responder a una perturbación por medio de estrategias humanas que se ajusten a las dinámicas de los AES con la finalidad de generar adaptaciones sustentables y conservar sus atributos esenciales. Existen dos tipos: adaptativos y de transformación. En el primero el sistema se reorganiza y cambia su configuración, pero conserva sus atributos esenciales; estos cambios adaptativos pueden ser sociales (autogestión y planificación) económicos (disponibilidad de recursos), tecnológicos (innovación) y ecológicos (diversificación) (Carpenter *et al.*, 2001; Salas-Zapata *et al.*, 2012; Acevedo-Osorio *et al.*, 2017; Balvanera *et al.*, 2017; Pereira, 2017). Para el segundo, la perturbación desencadenará cambios en las variables esenciales del sistema que lo llevarán a la transformación, es decir, a la creación de un sistema socioecológico fundamentalmente nuevo, presentándose cuando las estructuras sociales, económicas y ecológicas hacen poco viable el sistema existente (Walker *et al.*, 2004).

Capacidad de autoorganización: se refiere a la capacidad de reorganización del sistema socioecológico luego de una perturbación para construir sus propias estructuras internas (endógena) por medio de su nivel de panarquía es decir, manteniendo las bases jerárquicas representadas por sus ciclos adaptativos a diversas escalas (Holling, 2001). Este principio de autoorganización se aplica a sistemas agrícolas, socioeconómicos e institucionales. Además, es un atributo de los AES que puede formar redes o capital social en una organización de agricultores (Berkes *et al.*, 2003; Milestad y Darnhofer, 2003; Jacobi *et al.*, 2014).

Dominio de estabilidad o de atracción: es la capacidad o régimen que presenta un sistema socioecológico para mantener su estructura y función a través del tiempo a pesar de los disturbios ocasionados por factores externos y procesos internos, controlando los límites y magnitud de perturbaciones que pueden empujar al sistema a un estado diferente (Carpenter *et al.*, 2001; Folke *et al.*, 2002; Berkes *et al.*, 2003; Walker *et al.*, 2004). Se pueden distinguir dominios de tipo socioeconómico y ecológico; por ejemplo, en lo socioeconómico, la inestabilidad política que interactúa con variables de gestión o los derechos de propiedad que intervienen en el uso de la tierra y en lo ecológico, un lugar con disponibilidad de nutrientes que determina el rendimiento productivo en los AES (Gunderson, 2000; Folke *et al.*, 2004; Davoudi *et al.*, 2012; Tiltonell, 2014; Quiroz *et al.*, 2021).

Resistencia: es la capacidad de los SSE a resistir o tolerar perturbaciones dependiendo del diseño y manejo de los AES. Este atributo se puede deber en parte a la diversificación con especies de dosel que reducen la radiación directa, cobertura vegetal en suelo, variedades tolerantes a enfermedades y plagas, mayor tolerancia a condiciones ambientales extremas (resistencia a sequías y a estrés hídrico) (Carpenter *et al.*, 2001; Henao, 2013; Nicholls y Altieri, 2017; Quiroz *et al.*, 2021).

Marcos metodológicos, índices y enfoques de resiliencia socioecológica

Las investigaciones consideradas en este estudio se enfocan a responder a los desafíos del cambio climático y de sustentabilidad de los AES, poniendo en práctica diversos marcos metodológicos que intentan operacionalizar el concepto de

sustentabilidad y por consiguiente a la RSE como parte esencial que la fundamenta. Se han utilizado diversas metodologías para la evaluación de la RSE. Las investigaciones generalmente han hecho referencia a marcos metodológicos apoyados en índices y enfoques conceptuales que buscan operacionalizar dicho concepto.

Entre las metodologías más referidas encontramos al marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS) desarrollado por Masera, Astier y López- Ridaura (1999), el enfoque de resiliencia implementado por Milestad y Darnhofer (2003), el índice holístico de riesgo (IHR) expuesto por Barrera *et al.* (2007) y la metodología para evaluar la resiliencia socioecológica (MERS) propuesto por Casimiro-Rodríguez (2020) (Figura 5).

El marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS), ampliamente utilizado con éxito, en países latinoamericanos, ha posibilitado la elaboración de indicadores de RSE. Su implementación en la evaluación de AES en cinco provincias de Cuba, permitió aplicar la metodología para la evaluación de la resiliencia socioecológica (MERS) propuesta por Casimiro-Rodríguez (2020). Con la utilización de indicadores e índices de sostenibilidad local de soberanía alimentaria (SA), tecnológica (ST), energética (SE) y de eficiencia económica (EE) este estudio logró reconocer la importancia de la dependencia de insumos externos en la eficiencia económica de los AES que evidencio una RSE media (Casimiro-Rodríguez *et al.*, 2020).

En relación con el enfoque de resiliencia implementado por Milestad y Darnhofer (2003), en

el marco de su investigación refieren que la sustentabilidad se apoya en el análisis de la capacidad de adaptación a los cambios y que rara vez es el centro de atención. Es por este motivo que su investigación hace énfasis en el concepto de resiliencia la cual se enfoca en medir la capacidad de cambio, revelando las deficiencias en la estabilidad y la gestión de recursos. Proponiendo como objetivo comprender qué características propician el desarrollo de la resiliencia agrícola y qué factores del actual entorno socioeconómico pueden impedir alcanzar su potencial. Este enfoque fue puesto en práctica con la evaluación de tres atributos: a) capacidad de amortiguación, b) autoorganización y c) capacidad de adaptación en fincas orgánicas e inorgánicas de cacao en Alto Beni en Bolivia, esta investigación demuestra que la agricultura orgánica influye directamente en la RSE al fortalecer las redes sociales que esta implica (Jacobi *et al.*, 2014).

La aplicación del índice holístico de riesgo (IHR) propuesto por Barrera *et al.* (2007) fue empleado como medida de RSE del agroecosistema cafetalero. Los primeros trabajos que utilizaron este índice fueron las investigaciones de Henao (2013) y Montalba *et al.* (2013) quienes construyeron un marco de indicadores, haciendo referencia a conceptos ecológicos centrados en la variabilidad climática. Posteriormente es utilizado por Machado-Vargas *et al.* (2018) quienes destacan la necesidad de medir las dimensiones sociales, económicas y técnico-productivas con la intención de proponer estrategias de manejo agroecológico para incrementar la sustentabilidad de los cafecultores vulnerables. Estos estudios revelan que los mejores indicadores de RSE están representados por la presencia de especies tolerantes a sequías, la agrobiodiversidad y a los altos niveles de organización productiva (Barrera *et al.*, 2007; Montalba *et al.*, 2013; Machado-Vargas *et al.*, 2018).



Figura 5. Variables e indicadores para evaluar la RSE con diversos marcos metodológicos. Para el marco MERS se presentan indicadores que responden a cuatro índices de sustentabilidad que refieren a la soberanía alimentaria (SA), tecnológica (ST), energética (SE) y de eficiencia económica (EE).

Del concepto a la selección de indicadores para el monitoreo de la resiliencia socioecológica

La investigación en sustentabilidad ha encontrado en la RSE su objeto de estudio, donde es posible conocer la interrelación entre eventos o acontecimientos de orden social, político, económico y ecológico (Salas-Zapata *et al.*, 2011b). La RSE es parte fundamental de la trayectoria de los AES en situaciones de crisis y es descrita como una de sus propiedades que permite estimar el estado temporal de la sustentabilidad.

De este modo, algunos estudios han puesto en práctica la medición de esta propiedad, aplicándola a SSE contrastantes, un ejemplo de este tipo de estudios se realizó en ecosistemas lacustres y pastizales. En el primer caso se evaluó el contenido de fósforo en el suelo de la región de los grandes lagos de América del Norte y para el segundo, la cubierta de vegetación leñosa del oeste de Nueva Gales del Sur en Australia, concluyendo que en ambos casos los derechos de propiedad afectan el uso de la tierra, no obstante, destacan la necesidad de monitorear indicadores de RSE, que permitan comprender las dinámicas que intervienen en el desarrollo de la resiliencia (Carpenter *et al.*, 2001).

Por otra parte, la evaluación de la resiliencia también se ha aplicado a SSE lagunares con información disponible de casos seleccionados de Brasil (Ibiraquera y Patos), India (Cochin), Sri Lanka (Negombo) y Turquía (Haylazli). Resultando esenciales los factores: de aprendizaje de las crisis, la respuesta a los cambios, nutrición de la memoria ecológica, monitoreo del medio ambiente, desarrollo de la capacidad de autoorganización y el manejo de conflictos. Estas evaluaciones sugieren la inclusión de estos indicadores para medir la RSE y la sustentabilidad (Berkes y Seixas, 2005).

En lo que refiere a sistemas agrícolas, dos estudios han logrado evaluar el nivel de RSE por medio del índice holístico de riesgo (IHR), el primero analiza el impacto debido a eventos climáticos extremos en comunidades campesinas en la Araucanía Chilena y el segundo realizado con pequeñas familias de productores cafetaleros en Antioquía, Colombia, en donde se aplicó un conjunto de indicadores que reflejaron las amenazas, vulnerabilidad y capacidad de respuesta de las unidades familiares. Con el monitoreo de este índice holístico, se infiere la importancia del vínculo que existe entre la agrobiodiversidad y presencia de especies tolerantes a la sequía. Esto último, ha derivado en indicadores de gran importancia para la comprensión de los niveles de RSE en AES (Montalba *et al.*, 2013; Machado-Vargas *et al.*, 2018). Por otra parte, un estudio para evaluar la RSE en un cultivo de cacao orgánico en el Municipio de Alto Beni en Bolivia a través de la medición de la capacidad de amortiguación, autoorganización y capacidad de adaptación, concluye que la certificación orgánica y

la formación de cooperativas fortalece indudablemente su RSE (Jacobi *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

La RSE es una propiedad multidimensional relevante para la identificación de los agroecosistemas sustentables sin embargo, para entender su funcionamiento se necesita de una investigación interdisciplinaria sustentada en el marco de la teoría de los sistemas complejos.

Como propiedad multifactorial, la RSE sugiere realizar estudios de tipo transversal y longitudinal enfocados al monitoreo de atributos e indicadores aplicados al estudio de los diferentes modelos de producción agrícola posibilitando a la vez la planeación de intervenciones que permitan mejorar la RSE de los AES.

La conceptualización documentada en RSE propone estudiar con predominancia cinco atributos representativos: 1) perturbación con referencia a eventos de orden socioeconómico y de tipo climático que afectan a los AES, 2) la capacidad adaptativa de los sistemas como el atributo que identifica los cambios adaptativos y de transformación necesaria para ajustarse a la dinámica de los AES, 3) la capacidad de autoorganización que fortalece las estructuras endógenas y exógenas de los SSE y agroecosistemas, 4) el dominio de estabilidad o de atracción como el atributo que mantiene la estructura y función del SSE, controlando la magnitud de las perturbaciones y, finalmente, 5) la resistencia que dependerá del diseño y manejo del AES.

Se encontraron diversos marcos de investigación que posibilitan la derivación de indicadores en RSE como: el marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad (MESMIS), el índice holístico de riesgo (IHR), la metodología de enfoque de resiliencia y la metodología para la evaluación de resiliencia socioecológica (MERS).

Estos marcos metodológicos recomiendan como indicadores apropiados para medir la RSE aspectos como: dependencia de insumos externos, certificación orgánica, presencia de especies tolerantes a sequías, vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, agrobiodiversidad, y niveles de organización productiva, entre otros.

Esta revisión muestra evidencias sobre los esfuerzos de investigación realizados por la comunidad científica para desarrollar marcos metodológicos que contribuyan a evaluar la RSE de los diversos modelos de producción agrícola y particularmente, de los AES que enfrentan mayores riesgos asociados al cambio climático.

Acknowledgments

The authors thank the Postgraduate Program for the Doctorate in Agricultural Sciences of the Universidad Veracruzana; the first author's tutorial committee; we appreciate the translation support of colleague E. Hernández-Hernández and Ph. D. Diana Folger Pérez Staples for their teachings and critical reviews for the preparation of this manuscript.

Funding. This research was developed through a doctoral scholarship supported by CONACYT number 794608 to the first author.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Due to the nature of this work, it does not require approval by an ethical committee.

Data availability. The data are available in the cited literature.

Author contribution statement (CRediT). J.L.

Landa-Ochoa: conceptualization, data curation, formal analysis, investigation, methodology, software, resources, writing-original draft. **G.C. Ortiz-Ceballos:** conceptualization, formal analysis, supervision, writing - review and editing. **F. Gallardo-López:** conceptualization, formal analysis, supervision, writing - review and editing. **E. Escamilla-Prado:** conceptualization, formal analysis, writing - review and editing. **C.R. Cerdán-Cabrera:** conceptualization, formal analysis, writing - review and editing.

REFERENCIAS

- Acevedo-Osorio, Á., Angarita Leiton, A., León Durán, M. V. and Franco Quiroga, K. L., 2017. Sustentabilidad y variabilidad climática: acciones agroecológicas participativas de adaptación y resiliencia socioecológica en la región alto-andina colombiana. *Luna Azul*, 44, pp. 06-26. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.2>
- Adger, W.N., Hughes, T.P., Folke, C., Carpenter, S.R. and Rockstrom, J., 2005. Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, 309, pp. 1036-1039. <https://doi.org/10.1126/science.1112122>
- Balvanera, P. Astier, M. Gurri, F.D. and Zermeno-Hernández, I., 2017. Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, pp. 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.005>
- Barrera, J. F., Herrera, J. and Gómez, J., 2007. Riesgo-vulnerabilidad hacia la Broca de café bajo un enfoque de manejo holístico (Eds) J. F. Barrera, A. García, V. Domínguez, and Luna C. In *La broca del café en América tropical: hallazgos y enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología y El Colegio de la Frontera Sur*. México. pp. 131-141. <https://1library.co/document/y4wddlv-barrera-et-riesgo-vulnerabilidad-broca-caf%C3%A9.html>
- Berkes, F., Colding, J. and Folke, C., 2003. Introduction. in: Berkes, Colding y Folke, eds. *Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change*. New York: Cambridge University Press. pp. 1-31. <http://assets.cambridge.org/052181/5924/sample/0521815924ws.pdf>
- Berkes F. and Seixas C. S., 2005. Building resilience in lagoon social-ecological systems: A local-level perspective. *Ecosystems*, 8, pp. 967-974. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0140-4>
- Calderón-Contreras R., 2017. Los sistemas socioecológicos y su resiliencia. Casos de Estudio, Editorial Gedisa. México D.F. pp. 261. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67867/LosSSEysuResiliencia_CasosdeEstudio.pdf;jsessionid=36C62A401FF375AE543BFB CF787BF1C4?sequence=3
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M. and Abel, N., 2001. From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems*, 4(8), pp. 765-781. <http://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- Casimiro-Rodríguez, L., Casimiro-González, J. A., Suárez-Hernández, J., Martín-Martín, G. J., Navarro-Boulanger, M. and Rodríguez-Delgado, I. 2020. Evaluación de la resiliencia socioecológica en escenarios de agricultura familiar en cinco provincias de Cuba. *Pastos y Forrajes*, 43 (4), pp. 304-314. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269167438005>
- Chopin, P., Mubaya, C. P., Descheemaeker, K., Öborn, I. and Bergkvist, G., 2021. Avenues for improving farming sustainability assessment with upgraded tools, sustainability framing and indicators. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(2), pp. 19.

- <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00674-3>
- Conway, G. R., 1987. The properties of agroecosystems. *Agriculture System*, 24, pp. 95-117. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(87\)90056-4](https://doi.org/10.1016/0308-521X(87)90056-4)
- Davoudi, S., Shaw, K., Haider, L. J., Quinlan, A. E., Peterson, G. D., Wilkinson, C., Fünfgeld, H., McEvoy, D.; Porter, L. and Davoudi, S., 2012. Resilience: a bridging concept or a dead end. In: Davoudi S. and Porter, L. eds. Reframing' resilience: challenges for planning theory and practice interacting traps: resilience assessment of a pasture management system in Northern Afghanistan urban resilience: what does it mean in planning practice. *Planning Theory Practice*, 13(2), pp. 299-333. <https://doi.org/10.1080/14649357.2012.677124>
- Folke, C., Carpenter S, Elmqvist T., Gunderson L., Holling C.S., Walker B., 2002. Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations. The Environmental Advisory Council to the Swedish Government. Edit NORSTEDTS TRYCKERI AB. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.5.437>
- Folke, C., Carpenter, S., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., and Holling, C. S., 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, pp. 557-581. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>
- Folke, C., 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16, pp. 253-267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Gunderson L. H., 2000. Ecological resilience--in theory and application, *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, pp. 425-439. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.425>
- Henao, A., 2013. Propuesta metodológica de medición de la resiliencia agroecológica en sistemas socio-ecológicos: un estudio de caso en los Andes Colombianos. *Agroecología*, 8(1): 85-91. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/183031>
- Holling, C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, pp. 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Holling, C.S., 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4:390-405. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>
- Hünemeyer, A. J., De Camino, R., and Müller, S., 1997. Análisis del Desarrollo sostenible en Centroamérica: indicadores para la agricultura y los recursos naturales, San José, Costa Rica: IICA/GTZ. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/14865>
- Jacobi J., Schneider M., Pillco Mariscal M, Huber S., Weidmann S. and Rist, S., 2014. La contribución de la producción del cacao orgánico a la resiliencia socio-ecológica en el contexto del cambio climático en el Alto Beni – La Paz. *Acta Nova*, 6 (4), pp. 1-33. http://www.scielo.org/bo/pdf/ran/v6n4/v6n4_a03.pdf
- Machado-Vargas, M. M., Nicholls-Estrada C. I., and Ríos-Osorio L. A., 2018. Social-ecological resilience of small-scale coffee production in the Porce river basin, Antioquia (Colombia). *Idesia*, 36(3) pp. 141-151. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018005001801>.
- Masera, O., Astier, M. and López-Ridaura, S., 1999. Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El marco de evaluación MESMIS. México. MundiPrensa-GIRA-UNAM, 109 pp.
- Milestad, R. and Darnhofer I., 2003. Building farm resilience: The prospects and challenges of organic farming. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22(3), pp. 81-97. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_09
- Montalba, R., García, M., Altieri, M., Fonseca, F. and Vieli, L., 2013. Utilización del índice holístico de riesgo (IHR) como medida de resiliencia socioecológica a condiciones de escasez de recursos hídricos: Aplicación en comunidades campesinas e indígenas de La Araucanía, Chile. *Agroecología*, 8 (1), pp. 63-70. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182991>
- Morín, E. 1990. Introducción al pensamiento complejo. Editorial Gedisa. Barcelona, España. pp. 167.

- https://redpaemigra.weebly.com/uploads/4/9/3/9/49391489/morin_introduccion_al_pesamiento_complej.pdf
- Nicholls, C., and Altieri M., 2017. Nuevos caminos para reforzar la resiliencia socioecológica al cambio climático. Berkeley: SOCLA y REDAGRES. pp. 93. <https://archive.foodfirst.org/wp-content/uploads/2017/10/Libro-REDAGRES-Caminos-a-la-resiliencia.pdf>
- Pereira L. D., 2017. Vulnerability and resilience: Potentials, convergences and limitations in interdisciplinary research. *Ambiente and Sociedad*, 20(4), pp. 127-144. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31754711008>
- Platas-Rosado, D. E., Vilaboa-Arroniz, J., González-Reynoso, L., Severino-Lendechy, V. H., López-Romero, G. and Vilaboa-Arroniz, I. 2017. Un análisis teórico para el estudio de los agroecosistemas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20 (3), pp. 395-399. <http://doi.org/10.56369/tsaes.2019>
- Quiroz, G. I., Pérez, V.A., Landeros, S.C., Gallardo, L. F., Velasco V.J. and Benítez B. G., 2021. Análisis bibliométrico del conocimiento científico sobre resiliencia de agroecosistemas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), pp. 617-628. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2516>
- Resilience Alliance., 2010. Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners. Version 2.0. *Resilience Alliance*, pp. 54. https://www.resalliance.org/files/ResilienceAssessmentV2_2.pdf
- Rodríguez-Orozco, N., Linares-Gabriel, A. and Hernández-Chontal, M. A. 2021. Qualitative and quantitative analysis of scientific contributions in agribusiness. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), pp. 435-444. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.048>
- Romagosa, F., Chelleri, L., Trujillo, A. and Bretón, F. 2013. Sostenibilidad y resiliencia socioecológica en el delta del Ebro. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, pp. 239-263. <http://doi.org/10.5565/rev/dag.13>
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Orsorio L. A. and Álvarez-Del Castillo J., 2011a. Bases conceptuales para una clasificación de los sistemas socioecológicos de la investigación en sostenibilidad. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), pp. 136-142. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69522607015.pdf>
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Orsorio, L. A. and Álvarez-Del Castillo, J., 2011b. La ciencia emergente de la sustentabilidad: de la práctica científica hacia la constitución de una ciencia. *Interciencia*, 36 (9), pp. 699-706. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/699-e-SALAS-8.pdf>
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Orsorio L. A. and Álvarez-Del Castillo J., 2012. Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología Austral*, 22(1), pp. 74-79. <https://core.ac.uk/download/pdf/41767656.pdf>
- Sarandón, S., 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En: *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable* S. Sarandón La Plata, Argentina. (Ed.). Ediciones Científicas Americanas. pp. 393-414. <https://wp.ufpel.edu.br/consagro/files/2010/10/SARANDON-cap-20-Sustentabilidad.pdf>
- Tittonell, P., 2014. Livelihood strategies, resilience and transformability in African ecosystems. *Agricultural Systems*, 126(1), pp. 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.10.010>
- Toro-Mújica, P., García, A., Gómez-Castro, A. G., Acero, R., Perea, J. and Rodríguez-Estévez, V., 2011. Sustentabilidad de agroecosistemas. *Archivos de Zootecnia*, 60, pp. 15-39. <https://www.uco.es/servicios/ucopress/az/index.php/az/articulo/view/4914/3160>
- Walker, B., Holling, C., Carpenter, S. and Kinzig, A., 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>