



Indicadores socioambientales aplicados en la evaluación de calidad del agua en el sector agrícola: una revisión

Socio-environmental indicators applied to the assessment of water quality in the agricultural sector: a review

Indicadores socioambientais aplicados na avaliação da qualidade da água no setor agrícola: uma revisão

Andrea Carolina Fiquitiva Sierra^{1*}
Miguel Ángel Gamboa Castellanos²

*Autor de correspondencia: acfiquitivas@udistrital.edu.co

Recibido: 15 de julio de 2024 Aceptado: 06 de febrero de 2025

Resumen

El uso y manejo adecuado del recurso hídrico es de vital importancia en las actividades desarrolladas por el hombre, entre esas el uso en las actividades agrícolas, en donde se debe monitorear de forma periódica el recurso, mediante indicadores aplicados. El objetivo general de este estudio fue identificar indicadores socioambientales en la evaluación de la calidad del agua. Se realizó una revisión sistemática de literatura relacionada con indicadores socioambientales aplicados a la evaluación de la calidad del agua en el sector agrícola, incluyendo documentos publicados entre los años 2011 a 2022. Las bases de datos utilizadas fueron Google Académico, Science Direct, Springer Link y Scopus. Se incluyeron artículos, libros e informes científicos. La revisión se llevó a cabo en cuatro etapas. Los resultados reflejaron que existen tres enfoques aplicados al desarrollo de indicadores socioambientales asociados en la evaluación de la calidad del agua en el sector agrícola. En relación con la tendencia de distribución de las investigaciones, se evidenció que Asia, Europa

- 1 Ingeniera Sanitaria. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Maestría en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3315-5091>
- 2 Ingeniero Forestal, MSc. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Maestría en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7976-6649>

La Revista Sistemas de Producción Agroecológicos es una revista de acceso abierto revisada por pares. © 2012. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

OPEN ACCESS



Como citar este artículo / How to cite this article: Fiquitiva-Sierra, A. C. y Gamboa-Castellanos, M. A. (2025). Indicadores socioambientales aplicados en la evaluación de calidad del agua en el sector agrícola: Una Revisión. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 16(1), e-1136. DOI: <https://doi.org/10.22579/22484817.1136>

y América, presentaron una mayor importancia frente al desarrollo de investigaciones en indicadores socioambientales. En países como China y Tailandia se observaron el mayor número de investigaciones asociadas a los indicadores socioambientales en el sector agrícola, incentivando la producción de estrategias limpias conforme al manejo del recurso hídrico en las actividades asociadas a la agricultura.

Palabras claves: Agricultura; Conservación agrícola; Recursos hídricos.

Abstract

The proper use and management of water resources is of vital importance in human activities, including agricultural activities, where the resource must be periodically monitored using applied indicators. The general objective of this study was to identify socio-environmental indicators in the evaluation of water quality. A systematic review of literature related to socio-environmental indicators applied to the evaluation of water quality in the agricultural sector was conducted, including documents published between the years 2011 to 2022. The databases used were Google Scholar, Science Direct, Springer Link, and Scopus. Articles, books, and scientific reports were included. The review was carried out in four stages. The results reflected that there are three approaches applied to the development of socio-environmental indicators associated with the evaluation of water quality in the agricultural sector. Regarding the trend of research distribution, it was evidenced that Asia, Europe, and America presented greater importance in the development of research on socio-environmental indicators. In countries such as China and Thailand, the highest number of studies associated with socio-environmental indicators in the agricultural sector were observed, promoting the production of clean strategies in accordance with water resource management in activities associated with agriculture.

Keywords: Agricultural conservation; Agriculture; Water resources.

Resumo

O uso e manejo adequado dos recursos hídricos é de vital importância nas atividades desenvolvidas pelo homem, incluindo as atividades agrícolas, onde o recurso deve ser monitorado periodicamente por meio de indicadores aplicados. O objetivo geral deste estudo foi identificar indicadores socioambientais na avaliação da qualidade da água. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura relacionada aos indicadores socioambientais aplicados à avaliação da qualidade da água no setor agrícola, incluindo docu-

mentos publicados entre os anos de 2011 a 2022. As bases de dados utilizadas foram Google Acadêmico, Science Direct, Springer Link e Scopus. Foram incluídos artigos, livros e relatórios científicos. A revisão foi realizada em quatro etapas. Os resultados refletiram que existem três abordagens aplicadas ao desenvolvimento de indicadores socioambientais associados à avaliação da qualidade da água no setor agrícola. Em relação à tendência de distribuição das pesquisas, evidenciou-se que Ásia, Europa e América apresentaram maior importância no desenvolvimento de pesquisas em indicadores socioambientais. Em países como China e Tailândia, observou-se o maior número de pesquisas associadas aos indicadores socioambientais no setor agrícola, incentivando a produção de estratégias limpas conforme o manejo dos recursos hídricos nas atividades associadas à agricultura.

Palavras-chave: Agricultura; Conservação agrícola; Recursos hídricos.

Introducción

Poikane et al. (2015), informan que tanto los esfuerzos de armonización de datos metodológicos de Europa continental oriental y el Mediterráneo son pocos y que, en particular, faltan evaluaciones generales de presiones combinadas frente a la evaluación de la calidad de los recursos hídricos. El crecimiento en las actividades agrícolas e industriales ha afectado negativamente la calidad del agua superficial y subterránea en las últimas décadas (Calvo, 2013). Si bien, el diagnóstico del uso del agua en la agricultura de riego es alarmante, se desperdicia más de la mitad del líquido en riego por deficiencias en la conducción y el aprovechamiento (Godinez et al., 2007). Factores como el aumento de la población, el crecimiento económico y con la expansión del sector energético, están incrementando la demanda de recursos hídricos en todo el mundo, lo que implica el uso desproporcionado de acuíferos de aguas subterráneas intensificando así, la reducción en la disponibilidad futura de suministros de agua subterránea para riego en importantes regiones agrícolas (De Marco et al., 2016).

En términos generales, no existe suficiente información que permita identificar de manera clara indicadores socioambientales relacionados con la evaluación de la calidad en el sector agrícola. A nivel mundial se carece de información con relación a la implementación de indicadores socioambientales para evaluar la calidad del agua en el sector agrícola, la información disponible se encuentra dispersa o si bien, están asociados a la evaluación exclusiva de cuencas hidrográficas, fuentes hídricas superficiales entre otros, dejando de lado las implicaciones y diagnóstico para su implementación frente a su desarrollo en el sector agrícola (Georgakakos et al., 2018).

De acuerdo con Sarandón (2002), el uso de indicadores socioambientales con valores claros, objetivos y generales, permite la operativización del concepto de sustentabilidad y mejora la toma de decisiones, que para este artículo de revisión se plantean frente a la aplicación en el sector agropecuario (Cao et al., 2019). Así mismo, la selección de los indicadores socioambientales es de suma importancia para medir de manera concreta aquello que se busca contrarrestar. El vacío en la gestión a nivel mundial impide la generación de datos y la construcción de indicadores represen-

tativos relevantes para monitorear la calidad ambiental (Tischer, 2013). Existe un vacío en la evaluación de la calidad del agua en el sector agrícola (Bi et al., 2021), por lo que uno de los objetivos de esta revisión es identificar indicadores socioambientales que puedan establecerse frente al vacío existente y que en un futuro logren ser implementados en posibles estudios en esta área. Actualmente es necesario sustentar las futuras políticas en el sector agrícola mediante el desarrollo de investigaciones que faciliten la transición hacia sistemas de producción agrícola más sustentables y justos (Garcés, 2010), por lo que en esta revisión se busca intentar visibilizar las realidades y alternativas productivas que podrían apoyar esas políticas.

Elementos Conceptuales Relevantes

En general, un indicador socioambiental se refiere a simplificar, cuantificar y analizar diversos fenómenos que ocurren en un entorno social o territorial. Sin embargo, en su clasificación existen indicadores ambientales específicos, así como indicadores sociales, económicos, etc., que miden explícitamente su propio objetivo. Por eso, dependiendo de su origen, la fusión de dos indicadores busca integrar aspectos físicos y tecnológicos para considerar la sostenibilidad y los sistemas económicos y sociales en diferentes escalas y niveles (Espinosa et al., 2021). En el contexto investigativo, se han utilizado una variedad de enfoques para desarrollar bajo la premisa de resaltar en la importancia que integra el conocimiento, los datos y las metodologías existentes de las ciencias naturales y sociales para comprender e informar las soluciones a los problemas ambientales (Wei et al., 2015).

Indicadores más Utilizados

Investigaciones en el sector agrícola, incluyen indicadores basados en las áreas de una localidad, que dan seguimiento a los problemas clasificados para su determinación. La dinámica poblacional es función de un patrón territorial, lo cual lo determina como un indicador en el que se consideran variables como la natalidad, la mortalidad, la migra-

ción y la inmigración, estos a su vez pueden tener transiciones que afectan la movilidad como factores ambientales o espaciales que caracterizan un determinado lugar (Cabrera et al., 2007). Por otra parte, indicadores ambientales asociados la búsqueda de las investigaciones se consideran los usos de suelo característicos, así como la conservación de los recursos naturales, además de considerar indicadores de calidad de vida y de servicios básicos, producción de residuos, cobertura vegetal, entre otros, a través del uso de herramientas metodológicas de carácter mixto: cualitativas y cuantitativas (Garcés, 2010).

Diferentes investigaciones, aunque son pocas a nivel mundial, han estudiado la implementación de indicadores socioambientales para la evaluación de la calidad del agua en el sector agrícola, siendo esta la base para la generación de modelos y metodologías en busca de una nueva gestión frente al manejo y evaluación integral de los recursos hídricos, las cuales han obtenido resultados interesantes, un ejemplo de ello es la investigación realizada por Leinfelder et al. en 2019 frente a la generación de diagnósticos de información demográfica en aspectos de responsabilidad social, calidad y suministro en la demanda de agua en el sector agropecuario. Un estudio realizado desde el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) realizó una propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad predial en agroecosistemas agrícola-ganaderos del litoral del Uruguay, en el cual se propuso un conjunto de indicadores sociales, económicos y ambientales para evaluar la sustentabilidad a nivel predial de sistemas de producción agrícola-ganaderos arrojando resultados favorables conforme a las características frente al manejo del uso hídrico aplicado a un grupo base de productos agropecuarios en dicho país (Velázquez, 2013). Las investigaciones reportan que los indicadores socioambientales aplicados a la evaluación de la calidad del agua en el sector agrícola se consideran como una herramienta que permite el análisis de cambios cuando ocurren afectaciones y cambios significativos en el entorno, que si bien, consideran que son fundamentales frente al

0,00. Conforme con lo anterior, el Q1 representa el cuartil con el mayor número de documentos citados con respecto al cuartil Q4 los cuales serían los menos citados (Zafra et al., 2017).

Etapa 4: Finalmente, se desarrolló la etapa 4 de búsqueda bibliográfica, en el cual se determinaron las principales variables asociadas a los enfoques y tipos de indicadores predominantes en el sector agrícola catalogadas en las etapas anteriores; se retoma la metodología propuesta para la etapa 3, identificando las siguientes variables: (i) nutrición de la población, (ii) política pública agroambiental, (iii) ingresos y economía de los agricultores, (iv) uso del suelo, (v) nutrientes y retención del suelo, (vi) ingreso de agua, y (vii) emisiones atmosféricas. De acuerdo con los expertos del panel internacional francés (INRAE), en el trabajo de Bergez et al. (2022), elegidos para la revisión bibliográfica. Por otra parte, se desarrolla un análisis de la distribución geográfica de las investigaciones con miras a establecer la frecuencia de citación de los enfoques, tipos y variables en los indicadores socioambientales aplicados en el sector agrícola.

Análisis Estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos se empleó estadística descriptiva (promedio, media, desviación estándar y varianza) para cada uno de los elementos considerados en la revisión (enfoques, tipos, variables obtenidas para los indicadores socioambientales aplicados en la evaluación de la calidad en el sector agrícola), apoyado de herramientas estadísticas como el programa IBM SPSS Statistic.

Resultados y discusión

En la primera fase de revisión de literatura para las palabras clave indicadores socioambientales, calidad del agua y agricultura, se encontró un total de 38.861 documentos en las cuatro bases de datos. La base de datos con mayor número de documentos detectados fue Google Scholar (17.800; 45,8%), seguida por Science Direct (9.026; 23,23%), Springer Link (8.035; 20,67%) y Scopus (4.000; 10,29%) (Tabla 1).

Tabla 1. Orden de importancia de los enfoques, tipos y variables de los indicadores socioambientales para evaluación de la calidad del agua en el sector agrícola.

Etapa	Palabras clave	Base de Datos								Índice medio	Cuartil Medio
		Google Académico		Science Direct		Springer Link		Scopus			
		DD	(Q)	DD	(Q)	DD	(Q)	DD	(Q)		
1	Indicadores socioambientales, calidad del agua, agricultura	17.800	1,0	9.026	1,0	8.035	1,0	4.000	1,0	-	-
2. Enfoques	Evaluación del ciclo de vida	38.820	0,32	1.156	0,12	7.967	1,0	335	0,084	0,85	Q1
	Evaluación de servicios ecosistémicos	30.090	0,17	2.410	0,26	1.000	0,12	411	0,10	0,55	Q2
	Evaluación de rendimiento	20.073	0,11	77	0,009	74	0,009	24	0,006	0,29	Q3

3. Tipos	Conductores	16.700	0,93	604	0,06	36.106	4,4	17	0,004	1,0	Q1
	Presión	16.300	0,91	2.995	0,33	83.690	4,5	13	0,015	1,0	Q1
	Estado	3.170	0,17	400	0,04	2.076	0,2	14	0,013	0,12	Q4
	Nutrición de la población	19.000	1,0	106	0,012	30	0,003	61	0,01	0,27	Q3
	Política pública agroambiental	13.340	0,74	84	0,009	75	0,01	50	0,01	0,20	Q4
4. Variables	Ingresos y economía de los agricultores.	16.800	0,94	63	0,007	61	0,01	63	0,01	0,24	Q4
	Uso del suelo	21.600	1,2	273	0,03	59	0,01	170	0,04	0,32	Q3
	Nutrientes y retención del suelo	17.500	0,98	56	0,006	84	0,01	73	0,01	0,25	Q3
	Ingreso de agua	19.300	1,0	74	0,008	118	0,01	85	0,02	0,28	Q3
	Emisión de gases	12.200	0,68	558	0,06	168	0,02	206	0,05	0,20	Q4

Nota: DD: Documentos detectados; Q: Índice promedio de frecuencia de citación.

Enfoques de los Indicadores Socioambientales Aplicados en el Sector Agrícola

La presente revisión de literatura comprendida entre los años 2011-2021 reflejó el siguiente orden de importancia para los enfoques de indicadores socioambientales en la evaluación de la calidad del agua en el sector agrícola: (i) evaluación del ciclo de vida (*Life Cycle Assessment* (LCA)), seguido de (ii) evaluación de servicios ecosistémicos (*Ecosystem services assessment* (ESA)) y (iii) evaluación de rendimiento (*Yield gap analysis* (YGA)).

Se identificaron 56 (47%) documentos relacionados con el enfoque evaluación del ciclo de vida, (LCA), siendo el de mayor citación, este se utiliza cada vez más en la investigación y la industria para evaluar los impactos ambientales de los sistemas agroalimentarios (Van der Werf et al., 2020). Para

el enfoque de evaluación de servicios ecosistémicos (ESA), en los documentos revisados se encontró un total de 42 (35%), siendo fundamental en un campo de investigación interdisciplinario y con gran auge, ya que asocia las estructuras de los ecosistemas, funciones, servicios ecosistémicos y los beneficios asociados para los seres humanos (Porter et al., 2009; Häyhä y Franzese, 2014; Grunewald y Bastian, 2015). El enfoque de evaluación de rendimiento (YGA) contó con 21 (17%) documentos siendo el de menor citación, sin embargo, su papel es de gran importancia debido a su aplicación desde varias escalas espaciales, ubicaciones específicas y dentro de importantes regiones de producción de cultivos; siendo fundamental para identificar zonas de amortiguamiento (Sirami et al., 2019) (Tabla 2).

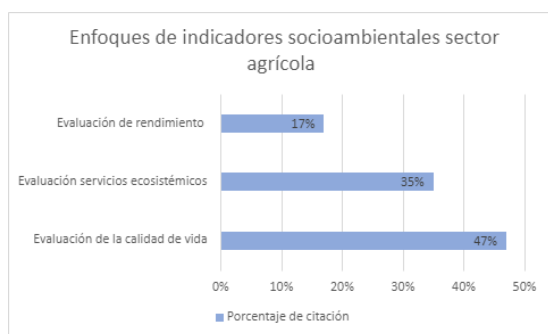
Tabla 2. Categorías y subcategorías detectadas durante la revisión bibliográfica.

Categoría	Documentos detectados (n)	Subcategoría	Q	%	Cuartil
Enfoques de indicadores socioambientales en el sector agrícola	(n=56)	Enfoque de evaluación del ciclo de vida	0,47	47%	Q2
	(n=42)	Enfoque de evaluación de servicios ecosistémicos	0,35	35%	Q2
Tipos de indicadores socioambientales en el sector agrícola	(n=21)	Enfoque de evaluación de rendimiento	0,17	17%	Q3
	(n=67)	Indicadores Conductores	0,38	38%	Q2
	(n=72)	Indicadores de Presión	0,41	41%	Q2
	(n=33)	Indicadores de respuesta	0,19	19%	Q3
	(n=5)	Nutrición de la población	0,06	6%	Q4
Variables en los indicadores socioambientales en el sector agrícola	(n=6)	Política pública agroambiental	0,07	7%	Q4
	(n=4)	Ingresos y economía de los agricultores.	0,04	4%	Q4
	(n=23)	Uso del suelo	0,28	28%	Q3
	(n=10)	Nutrientes y retención del suelo	0,12	12%	Q3
	(n=18)	Ingreso de agua	0,22	22%	Q3
	(n=15)	Emisiones de gases	0,18	18%	Q3

En esta revisión, se identificó que el porcentaje con mayor citación está vinculado al enfoque de evaluación del ciclo de vida (47%), seguido de evaluación de servicios ecosistémicos (35%) (Figura 1). De acuerdo con lo propuesto por Müller et al. (2020), este porcentaje está relacionado con la

importancia en la vinculación de prácticas agrícolas no sostenibles debido al manejo inadecuado y excesivo del recurso hídrico para actividades de riego, entre otros factores que afectan condiciones en los servicios ecosistémicos y las condiciones en la vida del ser humano.

Figura 1. Porcentaje de citación de los enfoques de indicadores socioambientales en el sector agrícola observados en los documentos de revisión.



En el enfoque de evaluación de ciclo de vida en la revisión bibliográfica y de acuerdo con lo propuesto por Clarck y Tilman (2017), es uno de los más utilizados en cuanto a la comparación de sistemas de producción agrícola y la evaluación de la eficiencia de insumos para la elección de alimentos frente a las condiciones de la calidad del agua. Conforme con lo anterior, la revisión mostró una relevancia en este enfoque para el planteamiento de metodologías desarrolladas en artículos científicos propuestos mayormente en China, evidenciando 20 documentos de los revisados atribuidos a este país, si bien, se identificó que a partir de los años 2011 a 2018, la cantidad de artículos revisados están centrados en la evaluación de la calidad de vida y que, precisamente para evaluar los sistemas agroalimentarios la cantidad de ellos aumentó de 1 a 1040 por año (Van der Werf et al., 2020). Por otra parte, Soulé et al. (2021), realizaron una revisión de 262 métodos de evaluación de sostenibilidad ambiental, encontrando que alrededor del 25% de los métodos incluían al menos un indicador que evalúa sistemas de la calidad agrícola en producción en relación con la evaluación del ciclo de vida.

Para el enfoque de evaluación de servicios ecosistémicos y, de acuerdo con Garbach et al. (2014), y Duru et al. (2015), se evidencia que aquellos servicios que determinan la fertilidad del suelo (uso del

suelo y nutrientes) y las regulaciones biológicas son precisamente los servicios clave que brindan los ecosistemas a la agricultura. Adicionalmente, para esta revisión se identifica que son aquellos que buscan un equilibrio frente al ecosistema de los recursos naturales con respecto a procesos de regulación global del clima, la erosión o las inundaciones (Kandziora et al., 2013; Haines y Potschin, 2018). En cuanto al enfoque de evaluación de rendimiento, a pesar de ser el menos citado en esta revisión, la mayoría de los documentos evaluados tomaron la implementación de este enfoque en el contexto de la desaceleración de las tasas de aumento del rendimiento en los principales cultivos como trigo en Europa (Grassini et al., 2013), y el creciente interés en aumentar la eficiencia del uso de insumos (por ejemplo, agua y nitrógeno) debido a la preocupación por sus efectos negativos sobre el medio ambiente (Pe'er et al., 2020).

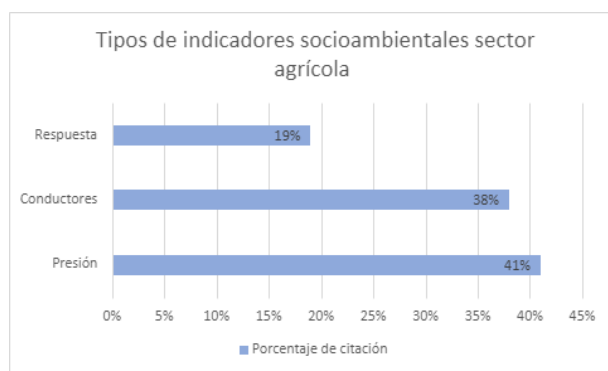
En esta revisión se tomó como guía lo propuesto por los investigadores Hayo van der Werf, Olivier Therond y Nicolas Guilpart, expertos franceses vinculados al panel internacional (INRAE), los cuales luego de un análisis de diferentes datos científicos, proporcionan los enfoques más usados y su relación intrínseca (Bergez et al., 2022); esta afirmación logra ser contrarrestada con la presente revisión de literatura realizada para los años 2011-2022, identificando que el enfoque de evaluación de calidad de vida se encuentra ligado con el de evaluación de servicios ecosistémicos, siendo estos utilizados en las investigaciones en Asia y en países de Europa para la generación de estudios interdisciplinarios.

Tipos de Indicadores Socioambientales Aplicados en el Sector Agrícola

Conforme con Haines y Potschin (2018), existen diferentes conjuntos de indicadores provenientes de diferentes comunidades de investigación; se observa que en los artículos de esta revisión, el 41% mostró como referente principal a los indicadores de presión, siendo estos los de mayor citación y utilizados en los estudios referentes al sec-

tor agrícola en la evaluación del recurso hídrico, seguido del 38% en los indicadores conductores y finalmente el 19% a indicadores de respuesta (Figura 2). En este sentido, Müller et al. (2020), en el marco de indicadores resultante, menciona que estos son de gran relevancia, dado a que permiten en un primer paso para la generación de estudios integrales para proporcionar información ante las actividades de gestión con respecto a la función de respuesta presentada en las investigaciones agrícolas.

Figura 2. Porcentaje de citación de los tipos de indicadores socioambientales en el sector agrícola.



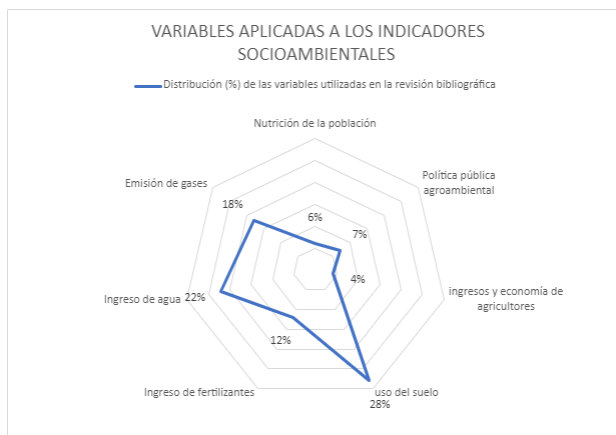
Por otra parte, para representar los resultados de manera íntegra, y de acuerdo con Bockstaller et al. (2008), dentro de la revisión bibliográfica, se estructura el conjunto de datos de los tipos de indicadores siguiendo el Driver-Pressure-State-Impact-Marco de respuesta (DPSIR), el cual es una herramienta para analizar todas las relaciones causa-efecto de un sistema entre la actividad humana y el medio ambiente, lo cual ha permitido organizar y seleccionar indicadores (Alkan et al., 2009).

Según Gabrielsen y Bosch (2003), un indicador tipo conductor es relevante frente a un cambio en el estilo de vida, el nivel general de consumo y el patrón de producción, o la motivación para un uso específico de la tierra, lo que conlleva su gran importancia en su implementación a nivel mundial, para lo que en esta revisión bibliográfica se identifica su mayor utilización (Rodríguez et al., 2020). En cuanto a los indicadores de presión en el sector agrícola, a través de la emisión de sustancias, agentes físicos y biológicos o incluso herramientas técnicas, y el uso de recursos por parte de las actividades humanas, se logra generar una alteración en el estado del medio ambiente, y estos a su vez generan flujos de reacción en cadena que impactan el medio ambiente y la provisión de beneficios ecosistémicos y el sistema socioeconómico. Finalmente, esto conduce a una respuesta social y política, que se refiere a las acciones que llevan a cabo desde la sociedad y los gobiernos para minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente (Salou et al., 2017). Conforme con lo anterior, estas afirmaciones están asociadas a las investigaciones revisadas, que si bien, permitieron identificar en todos los artículos el desarrollo predominante frente a este tipo de indicadores.

Variables de los Indicadores Socioambientales en el Sector Agrícola

Se realizó un análisis de relación referente a las variables más utilizadas y aplicadas en el desarrollo de los enfoques y tipos de indicadores socioambientales en el sector agrícola, identificando las siguientes: nutrición de población con un 6% de citación; política pública agroambiental con un 7%; ingreso y economía de los agricultores 4%; uso del suelo con el mayor porcentaje de citación del 28%; nutrientes y retención del suelo 12%; ingreso del agua siendo la segunda variable con mayor porcentaje de citación con el 22% y emisión de gases del 18% de citación (Figura 3).

Figura 3. Porcentaje de citación de los tipos de indicadores socioambientales en el sector agrícola.



Por otra parte, lo relacionado en la Tabla 3, en las variables determinadas mediante la revisión bibliográfica, los hallazgos permitieron observar que estas se encuentran asociadas conforme a los enfoques y tipos de indicadores analizados, la gran mayoría de estas variables se encuentra determinadas de la siguiente manera: nutrición de la población (Q3), política pública agroambiental (Q4), e ingresos y economía de los agricultores (Q4), dichas variables en los artículos analizados se asocian al enfoque de evaluación del ciclo de vida con tendencias a ser consideradas dentro de

los indicadores de conducción y presión, lo que representó el 54% en citaciones para revisión bibliográfica; las variables como nutrientes y retención del suelo (Q3), ingreso de agua al suelo (Q3), y emisión de gases (Q4), se encuentran asociadas al enfoque de evaluación de servicios ecosistémicos y en la utilización para los indicadores de presión y de estado representando el 38% en citación a escala global. Finalmente, la variable de uso del suelo (Q3), se encuentra relacionada al enfoque de evaluación de rendimiento, representando el 8% al estar asociada al tipo de indicador de estado, este es un ejemplo al relacionar que aquellos enfoques con menor porcentaje de citación que para este caso sería el ya mencionado, las visitas o interés estarían inversamente proporcional, haciendo que este los artículos vinculados sean buscados con mayor relevancia al no existir gran cantidad de información con respecto a los demás enfoques (Silva et al., 2017). Además de ello, se hizo evidente que la integración de los enfoques, tipos y variables era posible y podría proporcionar un valor agregado para una evaluación integral del sector agrícola, generando así, una herramienta adecuada para comprender problemas, sus interacciones, redirigiendo así el significado para la interpretación de problemas que se presenten en el sector agrícola relacionado a condiciones de calidad del agua y la determinación de evaluaciones nuevas a considerar.

Tabla 3. Resumen de enfoques, tipos y variables más utilizados en los indicadores socioambientales a nivel continental.

América (n=6) 12%		Asia (n=22) 44%		Europa (n=15) 30%		África (n=2) 4%	
Enfoques	%	Enfoques	%	Enfoques	%	Enfoque	%
ECV	5,35	ECV	16,07	ECV	8,9	ECV	0
ESE	4,76	ESE	16,06	ESE	16,6	ESE	4,7
EVR	4,76	EVR	28,6	EVR	14,2	EVR	0
Tipos	%*	Tipos	%	Tipos	%	Tipos	%
C	2,98	C	6,9	C	6,9	C	0
P	4,16	P	24,2	P	11,9	P	2,7
E	4,7	E	10,4	E	6,0	E	0

América (n=6) 12%		Asia (n=22) 44%		Europa (n=15) 30%		África (n=2) 4%	
Variables	%*	Variables	%	Variables	%	Variables	%
NP	20	NP	1,0	NP	6,0	NP	0
PP	4,3	PP	8,6	PP	33,3	PP	0
IE	0	IE	1,25	IE	5,0	IE	0
US	16,6	US	33,3	US	8,69	US	4,3
NR	0	NR	1,0	NR	1,0	NR	0
IA	10	IA	22,2	IA	4	IA	0
EG	6,6	EG	20	EG	22,2	EG	6,6

Nota: %: Porcentaje con respecto al total mundial ECV: Evaluación calidad de vida, ESE: Evaluación de servicios ecosistémicos, ER: Evaluación de rendimiento, C: Conductores, P: Presión, E: Estado, Np: Nutrición de la población, PP: Política pública, IE: Ingreso y economía de los agricultores, NR: Nutrientes y retención del suelo, IA: Ingreso de agua, EG: Emisión de gases, US: Uso del suelo.

Relación de Enfoques, Tipos y Variables de los Indicadores Socioambientales

Se realiza un análisis en contraste con los 50 artículos de revisión con el fin de identificar la relación dada a partir de los enfoques, tipos y variables, a partir de ello se evidencia que el enfoque de evaluación de calidad de vida está intrínsecamente ligado con indicadores de tipo presión y conducción que suelen estar involucrados con variables como

nutrición de población, política pública e ingresos económicos representando en 54% de citación y relación entre ellos. En cuanto al enfoque de evaluación de los servicios ecosistémicos se encuentra vinculado con mayor afinidad a los tipos de indicadores de presión representando el 38% de citación para la relación de las variables; y el enfoque de evaluación de rendimiento está asociado a indicadores de estado con el 8% (Tabla 4).

Tabla 4. Relación entre enfoques, tipos y variables de los indicadores socioambientales.

Enfoques, tipos y variables asociados de indicadores socioambientales sector agrícola					
No.	Enfoques	Porcentaje (%) (n=50)	Tipos de indicadores asociados	Variables de indicadores	Índice Q
1.	Evaluación del ciclo de vida	54% (n=27)	Conductores y de Presión	1. Nutrición de la población	Q3
				2. Política pública agroambiental	Q4
				3. Ingresos y economía de los agricultores.	Q4
2.	Evaluación de servicios ecosistémicos	38% (n=19)	Presión	1. Nutrientes y retención del suelo	Q3
				2. Ingreso de agua al suelo	Q3
				3. Emisiones de gases	Q4
3.	Evaluación de rendimiento	8% (n=4)	Estado	1 Uso del suelo	Q3

A partir de ello, y tomado lo propuesto por Bergez et al. (2022), en consecuencia del desarrollo de las actividades humanas deben estar enfocadas a no exceder la capacidad de carga de la naturaleza, es decir, los sistemas ecológicos, por lo cual la importancia de generar análisis frente a las condi-

ciones de la calidad de vida, conforme con la parte socioeconómica de la agricultura, está compuesta por ítems que produce insumos manufacturados, como fertilizantes, pesticidas y máquinas para el sistema socioeconómico, en donde la toma de decisiones agrícolas y la producción de insumos

responden a la demanda de otros sistemas socioeconómicos, a su vez, la producción de insumos y las operaciones agrícolas y la gestión de la tierra provocan emisiones contaminantes y uso de recursos y, por lo tanto, impactos en los ecosistemas y la salud humana (Therond et al., 2017).

Por otra parte, todos los enfoques analizados a partir de lo expuesto en el trabajo de Bergez et al. (2022), mencionan que el enfoque de evaluación de ciclo de vida ofrece una adición porque incluye cadenas de producción, efectos directos e indirectos y situaciones aguas arriba y aguas abajo, con este último no siendo considerado en muchos estudios agrícolas. El enfoque de evaluación de servicios ecosistémicos se relaciona con una perspectiva territorial, es decir, un paisaje definido y/o un agroecosistema, mientras que el de evaluación de ciclo de vida se usa cada vez más para analizar las cadenas de productos alimentarios que involucran agroecosistemas en diferentes paisajes e incluso en diferentes regiones del mundo. La amplia gama de escalas en las que operan los tres enfoques analizados presenta diferentes desafíos metodológicos, sobre todo en lo que respecta a la disponibilidad de datos. En consecuencia, una combinación de enfoques no siempre es adecuada ni posible, entonces es necesario definir escalas espaciotemporales adecuadas para las mediciones/aplicaciones de acuerdo con lo evidenciado en el análisis bibliográfico (Bockstaller et al., 2008).

De acuerdo con los investigadores y lo pertinente frente a esta revisión de literatura, se evidencia que se requieren datos con mayor claridad para lograr estimar y monitorear los beneficios sociales de la agricultura con respecto a todas las implicaciones ambientales y sociales. Además, la disponibilidad de nuevas herramientas y tecnologías y la mayor interoperabilidad entre diferentes subsistemas, como datos abiertos, sistemas de información y gestión agrícola, telemetría en maquinaria agrícola y sensores locales, brindan incentivos adicionales para modernizar la base de pruebas de la agricultura (Dardonville et al., 2021).

Según el análisis planteado, es pertinente mencionar que de acuerdo con Fuglie et al. (2016), la implementación de indicadores socioambientales está asociado al desarrollo sostenible de los paisajes agrícolas y los sistemas de producción se transforman en un objetivo de las políticas agrícolas y ambientales recientes en todo el mundo. Esto con el fin de identificar estrategias óptimas de uso sostenible de la tierra, para la toma de decisiones en todos los niveles se necesita información cualitativa y cuantitativa integral sobre los estados reales y las posibles condiciones futuras de los paisajes y la producción agrícola. Además de ello, en esta revisión bibliográfica se encontraron algunos indicadores y similitudes temáticas, por ejemplo, se logró evidenciar que en el análisis de comparación de los tres enfoques propuestos estos eran complementarios en términos de objetivos y alcances conceptuales. Sin embargo, a pesar de las diferentes interpretaciones, los datos que requerían eran muy similares, lo que podría facilitar la implementación de estos en el sector agrícola. También esta revisión bibliográfica permitió demostrar que algunos temas ambientales son evaluados por todos los enfoques, mientras que solo uno como lo fue el enfoque de evaluación de ciclo de vida toma a consideración muchos otros. Por otra parte, la comparación entrelazada permitió identificar que algunos enfoques no analizaron los impactos presentados a nivel social o condiciones de salud sino en temáticas centradas al uso y cobertura de suelos.

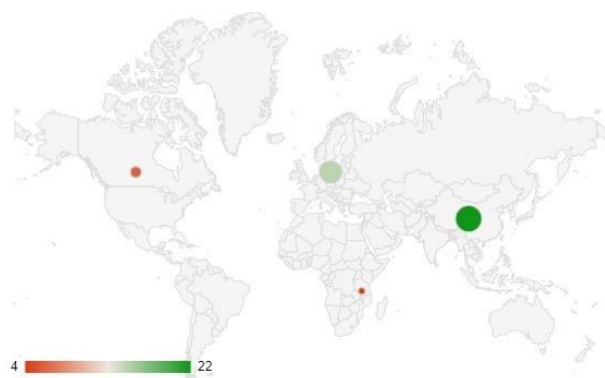
Análisis geográfico a nivel mundial

Mediante la revisión bibliográfica se pudo evidenciar que en la búsqueda de referencias en el período de 2011 a 2022, el año con mayor citación es el 2021 con un número de 17 artículos distribuidos a nivel mundial, seguido del 2019 y el año 2015 con un total de 12 y 10 artículos respectivamente. De acuerdo con ello, se evidencia que el enfoque de evaluación de ciclo de vida posee un porcentaje a nivel mundial predominante en Asia (16,07%); de igual manera el enfoque de evaluación de servicios ecosistémicos es predominante en Europa

(16,6%) y Asia (16,06%); sin embargo, el enfoque de evaluación de rendimiento suele ser el de mayor porcentaje de citación en Asia con el 28,6%. Los indicadores de tipo presión para Europa con un 24,2% son los de mayor predominancia al igual que en Europa con el 11,9%. En cuanto a las variables identificadas, las variables predominantes en los artículos de revisión se encuentra uso de suelo en Asia con un 33,3% del porcentaje con respecto al total mundial (Tabla 4).

Los resultados muestran que la tendencia de distribución de los estudios referentes a indicadores socioambientales aplicados al sector agrícola se encuentra categorizada por zonas geográficas, donde Asia es el continente con mayor porcentaje de citación del 44%, con un total de 22 publicaciones, seguida por Europa con un total de 15 artículos representando el 30%; América 6 con un 12%; África 2 publicaciones con un 4% (Figura 4). Se observó así, que para los años 2011-2021, representó un mayor interés para China y Tailandia, esto relacionado al ser uno de los países más representativos en el número de investigaciones enfocadas en los indicadores socioambientales para el sector agrícola, a lo que también estaría asociado el considerar estos dos países como líderes a nivel mundial con respecto a la producción agrícola (IPCC, 2019).

Figura 4. Distribución geográfica enfoques, tipos y variables de indicadores socioambientales



Conclusiones

Los resultados reflejaron que existen tres enfoques aplicados al desarrollo de indicadores socioambientales asociados en la evaluación de la calidad del agua en el sector agrícola. Se resalta que el enfoque predominante en las investigaciones es el de la evaluación del ciclo de vida, con el 47% de citación, el cual integra indicadores conductores y de presión, que son aquellos que de igual manera cuentan con mayores porcentajes de citación del 38% y 41% respectivamente. El enfoque de evaluación de servicios ecosistémicos también es uno de los más representativos, el cual también asocia indicadores conductores y de presión; no obstante, a pesar que el enfoque de evaluación de rendimiento fue de menor citación, se evidencia que está asociado a indicadores de respuesta, que de acuerdo con los artículos de revisión analizados son de vital importancia frente a las necesidades intrínsecas al sector agrícola, y determinantes para generar propuestas y metodologías en los indicadores socioambientales acertadas desde un ámbito holístico.

Dentro de esta revisión, se logra apreciar que algunos de los enfoques pueden estar implícitamente relacionados al igual que los tipos y las variables, si bien, es importante considerar que desde estas investigaciones existe mayor capacidad de respuesta en conformidad con las eventualidades en el ámbito social y ambiental. No obstante, se sugiere desarrollar estudios adicionales para comprender de manera más clara la interpretación y aplicación de los enfoques y tipos de indicadores socioambientales. En cuanto a las variables identificadas se logra concluir que, si bien las propuestas son bastante relevantes, sin embargo, en la actualidad se están desarrollando investigaciones asociadas a otras ramas que involucren mucho más aspectos económicos, sociales, ambientales y culturales que logren estar asociadas al objetivo frente a la generación de prácticas sustentables en el sector agrícola. Si bien, al realizar el análisis de enfoques, tipos y variables, presenta un primer acercamiento a un marco conceptual para abarcar la gran complejidad del agroecosistema y las diferentes di-

menciones que requieren frente a su evaluación, haciendo posible una evaluación más amplia de los problemas ambientales, proporcionando, por ejemplo, más información sobre el funcionamiento de los agroecosistemas.

Finalmente, en relación con la tendencia de distribución de las investigaciones, se evidenció que Asia, Europa y América, presentaron una mayor importancia frente al desarrollo de investigaciones en este ámbito, lo cual sugiere que este tipo de investigaciones y técnicas en el sector agrícola se concentra en países que requieren estrategias sustentables de manejo de la tierra y también para seguir siendo potencializados frente a estas prácticas y producciones agrícolas. En países como China y Tailandia se observaron el mayor número de investigaciones asociadas a los indicadores socioambientales en el sector agrícola, incentivando la producción de estrategias limpias conforme al manejo del recurso hídrico en las actividades asociadas a la agricultura.

Recomendaciones

Se sugiere que esta revisión literaria referente a los indicadores socioambientales para la evaluación de la calidad del agua en el sector agrícola, deben ser validados mediante otra serie de herramientas o programas de análisis mucho más completos. Es fundamental validar mediante comparaciones con estudios previos, análisis estadísticos robustos y consulta con expertos en ambos campos (socioambientales y técnicos), esto podrá asegurar la consistencia de los resultados y la relevancia de los indicadores en el contexto de evaluación de la calidad.

Referencias

1. Alkan, J., Bockstaller, C., Stapleton, L. M., Ewert, F., Knapen, R., Therond, O., Geniaux, G., Bellon, S., Correira, T. P., Turpin, N. y Bezlepikina, I. (2009). A goal-oriented indicator framework to support integrated assessment of new policies for agri-environmental systems. *Environmental Science & Policy*, 12(5), 562-572. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.01.012>
2. Bergez, J. E., Béthinger, A., Bockstaller, C., Cederberg, C., Ceschia, E., Guilpart, N., Lange, S., Müller, F., Reidsma, P., Riviere, C., Schader, C., Therond, O. y van der Werf, H. M. G. (2022). Integrating agri-environmental indicators, ecosystem services assessment, life cycle assessment and yield gap analysis to assess the environmental sustainability of agricultura. *Ecological Indicators*, 141, 1109107. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109107>
3. Bi, S., Wang, L., Li, Y., Zhang, Z., Wang, Z., Ding, X. y Zhou, J. (2021). A Comprehensive Method for Water Environment Assessment considering Trends of Water Quality. *Advances in Civil Engineering*, 2021(1), 5548113. <https://doi.org/10.1155/2021/5548113>
4. Bockstaller, C., Guichard, L., Makowski, D., Aveline, A., Girardin, P. y Plantureux, S. (2008). Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for sustainable development*, 28, 139-149. <https://doi.org/10.1051/agro:2007052>
5. Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Bort, J., Nogués, S. y Araus, J. L. (2007). The combined effect of constant water deficit and nitrogen supply on WUE, NUE and $\Delta^{13}C$ in durum wheat potted plants. *Annals of Applied Biology*, 151(3), 277-289. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00195.x>

6. Cao, Y., Chen, S., Wang, L., Zhu, B., Lu, T. y Yu, Y. (2019). An Agricultural Drought Index for Assessing Droughts Using a Water Balance Method: A Case Study in Jilin Province, Northeast China. *Remote Sensing*, 11(9), 1066. <https://doi.org/10.3390/rs11091066>
7. Calvo-Brenes, G. (2013). Modelo de predicción de la calidad del agua en ríos basado en índices e indicadores del recurso hídrico y el entorno socio ambiental. [Tesis de Doctorado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio Institucional del Instituto Tecnológico de Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3928/predicci%C3%B3n_agua_r%C3%ADOS_doctorado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. Clarck, M. y Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>
9. Dardonville, M., Legrand, B., Clivot, H., Bernardin, C., Bockstaller, C. y Therond, O. (2022). Assessment of ecosystem services and natural capital dynamics in agroecosystems. *Ecosystem Services*, 54, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101415>
10. De Marco, L., Carpenter, W., Liu, H., Biswas, R., Bowman, J. M. y Tokmakoff, A. (2016). Differences in the Vibrational Dynamics of H(2)O and D(2)O: Observation of Symmetric and Antisymmetric Stretching Vibrations in Heavy Water. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 7(10), 1769-1774. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.6b00668>
11. Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M. A., Justes, E., Journet, E. P., Aubertot, J. N., Savary, S., Bergez, J. E. y Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity- based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for sustainable development*, 35, 1259-1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
12. Espinosa-Morales, J. C., Escalona-Maurice, M. J., Ortega-Méndez, C. I. y Hernández-Juárez M. (2021). Generation of socio-environmental indicators in the territorial structure of San Luis Huexotla, Texcoco, México. *Agro-productividad*, 14(4), 105-111. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i4.1861>
13. Fuglie, K., Benton, T., Sheng, Y., Hardelin, J., Mondelaers, K. y Laborde, D. (2016). G20 MACS white paper: Metrics of sustainable agricultural productivity. Información disponible en: https://www.oecd.org/tad/events/G20%20MACS%20WP%20Ag%20Productivity%20Metrics%204-26-2016_Final.pdf
14. Gabrielsen, P. y Bosch, P. (2003). Environmental indicators: typology and use in reporting. Información disponible en: http://costabalearsostenible.es/ATenpdf/2.Hor/SistemaIndicadores/Key%20References_Indicators/EEA%202003.pdf
15. Garbach, K., Milder, J. C., Montenegro, M., Karp, D. S. y DeClerck, F. A. J. (2014). Biodiversity and Ecosystem Services in Agroecosystems. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 2, 1-24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00013-9>
16. Garcés, S. (2010). Bienestar y sustentabilidad en el medio rural: análisis de tres agroecosistemas (uno agroecológico, uno convencional y uno mixto) en Carchi y Esmeraldas a través de indicadores multidimensionales. [Tesis de Maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales-FLACSO]. Repositorio Institucional de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Ecuador. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/2384/1/TFLACSO-04-SGJ2010.pdf>

17. Georgakakos, C. B., Morris, C.K. y Walter, M. T. (2018). Challenges and Opportunities With On-Farm Research: Total and Soluble Reactive Stream Phosphorus Before and After Implementation of a Cattle-Exclusion, Riparian Buffer. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 71. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00071>
18. Godínez-Montoya, L., García-Salazar, J., Fortis-Hernández, M., Mora-Flores, J., Martínez-Damián, M., Valdivia-Alcalá, R. y Hernández-Martínez, J. (2007). Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*, 25(1), 51-59. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311513007.pdf>
19. Grassini, P., Eskridge, K. M. y Cassman, K. G. (2013). Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. *Nature communications*, 4(1), 2918. <https://doi.org/10.1038/ncomms3918>
20. Grunewald, K., Bastian, O. (2015). *Ecosystem Services—Concept, Methods and Case Studies*. Springer Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44143-5>
21. Haines-Young, R. y Potschin, M. B. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Información disponible en: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>
22. Häyhä, T. y Franzese, P. (2014). Ecosystem services assessment: A review under an ecological-economic and systems perspective. *Ecological Modelling*, 289, 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.07.002>
23. Kandziora, M., Burkhard, B. y Müller, F. (2013). Mapping provisioning ecosystem services at the local scale using data of varying spatial and temporal resolution. *Ecosystem Services*, 4, 47-59. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.04.001>
24. Leinfelder, F., Tonello, K., Leal, M. y Correa, C. (2019). Socio-environmental indicators in the integrated river basin management at the Sorocaba metropolitan region, São Paulo state, southeastern Brazil. *Sociedade & Natureza*, 31, e38708. <https://doi.org/10.14393/SN-v31-2019-38708>
25. Müller, F., Bicking, S., Ahrendt, K., Kinh, B. D., Blindow, I., Fürst, C., Haase, P., Kruse, M., Kruse, T., Ma, L., Perennes, M., Ruljevic, I., Schernewski, G., Schimming, C. G., Schneiders, A., Schubert, H., Schumacher, J., Tappeiner, U., Wangai, P., Windhorst, W. y Zeleny J. (2020). Assessing ecosystem service potentials to evaluate terrestrial, coastal and marine ecosystem types in Northern Germany – An expert-based matrix approach. *Ecological Indicators*, 112, 106116. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106116>
26. Pe'er, G., Bonn, A., Bruelheide, H., Dieker, P., Eisenhauer, N., Feindt, P. H., Hagedorn, G., Hansjürgens, B., Herzog, I., Lomba, Â., Marquard, E., Moreira, F., Nitsch, H., Oppermann, R., Perino, A., Röder, N., Schleyer, C., Schindler, S., Wolf, C., Zinngrebe, Y. y Lakner, S. (2020). Action needed for the EU Common Agricultural Policy to address sustainability challenges. *People and Nature*, 2(2), 305-316. <https://doi.org/10.1002/pan3.10080>

27. Poikane, S., Birk, S., Böhmer, J., Carvalho, L., de Hoyos, C., Gassner, H., Hellsten, S., Kelly, M., Solheim, A., Olin, M., Pall, K., Phillips, G., Portielje, R., Ritterbusch, R., Sandin, L., Schartau, A., Solimini, A., van den Berg, M., Wolfram, G. y van de Bund, W. (2015). A hitchhiker's guide to European lake ecological assessment and intercalibration. *Ecological indicators*, 52, 533-544. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.005>
28. Porter, J., Costanza, R., Sandhu, H., Sigsgaard, L. y Wratten, S. (2009). The value of producing food, energy, and ecosystem services within an agro-ecosystem. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 38, 186-193. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-38.4.186>
29. Rodríguez, V., Gaspard, F., Kastner, T. y Meyfroidt, P. (2020). Agricultural intensification and land use change: assessing country-level induced intensification, land sparing and rebound effect. *Environmental Research Letters*, 15(8), 085007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8b14>
30. Salou, T., Le Mouél, C. y van der Werf, H. M. G. (2017). Environmental impacts of dairy system intensification: the functional unit matters. *Journal of Cleaner Production*, 140, 445-454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.019>
31. Sarandón, S. J. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. En S. J. Sarandón (Ed.), *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable* (pp 393-414). E.C.A Ediciones Científicas Americanas. https://kapixawa.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/09/sustentabilidad_sarandon.pdf
32. Silva, J. V., Reidsma, P. Y van Ittersum, M. K. (2017). Yield gaps in Dutch arable farming systems: analysis at crop and crop rotation level. *Agricultural Systems*, 158, 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.06.005>
33. Sirami, C., Gross, N., Baillod, A. B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguët, P., Vuillot, C., Alignier, A., Girard, J., Batary, P., Clough, Y., Violle, C., Giralt, D., Bota, G., Badenhausser, I., Lefebvre, G., Gauffre, B., Vialatte, A., Calatayud, F., Gil, T. A., Tischendorf, L., Mitchell, S., Lindsay, K., Georges, R., Hilaire, S., Recasens, J., Solé-Senan, X. O., Robleño, I., Bosch, J., Barrientos, J. A., Ricarte, A., Marcos-García, M. A., Minano, J., Mathevet, R., Gibon, A., Baudry, J., Balent, G., Poulin, B., Burel, F., Tschardtke, T., Bretagnolle, V., Siritwardena, G., Ouin, A., Brotons, L., Martin, J. L. y Fahrig, L. (2019). Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(33), 16442-16447. <https://doi.org/10.1073/pnas.1906419116>
34. Soulé, E., Michonneau, P., Michel, N. y Bockstaller, C. (2021). Environmental sustainability assessment in agricultural systems: a conceptual and methodological review. *Journal of Cleaner Production*, 325, 129291. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129291>
35. Therond, O., Duru, M., Roger-Estrade, J. y Richard, G. (2017). A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37(21), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0429-7>
36. Tischer, V. (2013). Indicadores socioambientais aplicados nos municípios costeiros do litoral centro-norte de Santa Catarina, com ênfase nos promontórios costeiros. Información disponible en: http://www6.univali.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1170

37. Van der Werf, H. M. G., Knudsen, M. T. y Cederberg, C. (2020). Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability*, 3(6), 419-425. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>
38. Velázquez, L. J. y D'Armas, M. (2013). Indicadores de desarrollo sostenible para la planificación y toma de decisiones en el Municipio Caroní. Universidad, *Ciencia y Tecnología*, 17(66), 19-27. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=51316-48212013000100003&lng=es&nrm=iso
39. Wei, C. A., Burnside, W. R. y Che-Castaldo, J. P. (2015). Teaching socio-environmental synthesis with the case studies approach. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 5(1), 42-49. <https://doi.org/10.1007/s13412-014-0204-x>
40. Zafra, C., Temprano, J. y Tejero, I. (2017). The physical factors affecting heavy metals accumulated in the sediment deposited on road surfaces in dry weather: A review. *Urban Water Journal*, 14(6), 639-649. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1223320>