








Impact of agricultural pollution on environmental sustainability: A Systematic Literary Review








Damian Cristobal, Stephanie Camila, Bachelor¹ , Machacuay Laveriano Dayana Ghylda, Bachelor² , Rodriguez Alegre, Lino Rolando, Master³ , Egúsqiza Rodriguez, Margarita Jesús, Master⁴ , Lopez Padilla, Rosario del Pilar, Master⁵ , Paz Campaña, Augusto Edward, Master⁶ , Romero Mendoza, Claudia Sofía, Master⁷ 

^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Peru, Lima - Peru, U19313108@utp.edu.pe, U19207879@utp.edu.pe, C22953@utp.edu.pe
second.author@email.com
^{4,5,6,7}Cesar Vallejo University, Lima - Peru, megusquizar@ucvvirtual.edu.pe, rlopezp@ucv.edu.pe, aepazc@ucvvirtual.edu.pe,
cromeroms@ucvvirtual.edu.pe

Abstract- The research work focuses on the impact of agricultural pollution on environmental sustainability. The methodology adopted follows the PICOC framework and PRISMA criteria, guiding the formulation of the research question, the search, selection and analysis of relevant studies. The main objective is to identify, evaluate and synthesize the available evidence on how agricultural pollution impacts environmental sustainability from various perspectives and contexts. The results, discussion and conclusions are presented based on the systematic review of 34 studies classified according to thematic areas, year of publication, origin, type of document and number of citations. Recognizing the importance of this analysis, the study also highlights its limitations and makes recommendations for future research in the field, thus contributing to the advancement of knowledge in the field of occupational and environmental safety, with special emphasis on the mitigation of agricultural pollution to promote environmental sustainability.

Keywords-- Environmental impact of agriculture, Agricultural practices, Ecological balance, Sustainability, Impact of soil

Impacto de la contaminación agrícola en la sostenibilidad ambiental: Revisión Sistemática Literaria

Damian Cristobal, Stephanie Camila, Bachiller¹ , Machacuay Laveriano Dayana Ghylda, Bachiller² , Rodriguez Alegre, Lino Rolando, Magister³ , Egúsqiza Rodriguez, Margarita Jesús, Magister⁴ , Lopez Padilla, Rosario del Pilar, Magister⁵ , Paz Campaña, Augusto Edward, Magister⁶ , Romero Mendoza, Claudia Sofía, Magister⁷ 

^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Peru, Lima - Perú, U19313108@utp.edu.pe, U19207879@utp.edu.pe, C22953@utp.edu.pe
^{4,5,6,7}Universidad César Vallejo, Lima - Perú, megusquizar@ucvvirtual.edu.pe, rlopezp@ucv.edu.pe, aepazc@ucvvirtual.edu.pe, cromeroms@ucvvirtual.edu.pe

Resumen– *El trabajo de investigación se enfoca en el impacto de la contaminación agrícola en la sostenibilidad ambiental, La metodología adoptada sigue el marco PICOC y los criterios PRISMA guiando la formulación de la pregunta de investigación, la búsqueda, selección y análisis de estudios pertinentes. El objetivo principal es identificar, evaluar y sintetizar la evidencia disponible sobre como impacta la contaminación agrícola en la sostenibilidad ambiental desde diversas perspectivas y contextos. Los resultados, la discusión y las conclusiones se presentan en base a la revisión sistemática de 34 estudios clasificados según áreas temáticas, año de publicación, origen, tipo de documento y número de citas. Reconociendo la importancia de este análisis, el estudio también destaca sus limitaciones y formula recomendaciones para futuras investigaciones en el ámbito contribuyendo al avance del conocimiento en el campo de la seguridad laboral y ambiental, con especial énfasis en la mitigación de la contaminación agrícola para promover la sostenibilidad ambiental*

Palabras clave-- *Environmental impact of agriculture, Agricultural practices, Ecological balance, Sustainability, Impact of soil*

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, la agricultura desempeña un papel fundamental en la producción de alimentos; pero también, se constituye en una de las principales fuentes de contaminación ambiental [1]. Esto se debe al uso intensivo de pesticidas, herbicidas y fertilizantes, lo que ha llevado a la alteración de la calidad del suelo y el agua así como la pérdida de biodiversidad [2]. Se han identificado, contaminantes orgánicos e inorgánicos en suelos, aguas y sedimentos en zonas agrícolas generando riesgos ambientales y de salud en las personas. Por tanto, es crucial abordar los riesgos genotóxicos para los trabajadores agrícolas debido a la exposición a estos pesticidas y explorar el potencial agroforestal para la adaptación al cambio climático [3].

La excesiva actividad en los sistemas agrícolas puede llevar a la degradación de los suelos [4]; por tanto, alimentar a una población que se estima llegará a casi 10 mil millones de personas en 2050 de forma sostenible es, en la actualidad, la prioridad de investigadores y políticos ya que la mayor

intensificación en el uso y expansión de las tierras agrícolas sería motivo de gran preocupación [5]. En este sentido, se destaca la necesidad de equilibrar la producción agrícola para conservar el medio ambiente.

Por otro lado, la estrategia del recurso hídrico; esto es: el uso eficiente del agua mediante la hidroponía [6] hasta los obstáculos relacionados con la administración del recurso hídrico en regiones áridas y semiáridas abordan cuestiones cruciales sobre la disponibilidad y conservación del agua [7].

La problemática radica en la creciente preocupación por los efectos negativos y la amenaza para la sostenibilidad ambiental [1]. Esto incluye la liberación de contaminantes químicos y biológicos, junto con la pérdida de biodiversidad y degradación de recursos naturales y que se intensifica con el aumento de la demanda de alimentos [8]. De este modo, abordar este problema es crucial para la sostenibilidad agrícola y la salud del planeta y trasciende fronteras y sectores económicos, aportando soluciones para garantizar la sostenibilidad de la agricultura y preservar nuestro entorno para futuras generaciones [9]. Las malas prácticas agrícolas afectan al medio ambiente y es fundamental saber de sus efectos para el avance del conocimiento científico en esta área. Además, se alinean con el Objetivo 15 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas: Vida de Ecosistemas Terrestres [10] y contribuyen a abordar uno de los desafíos más alarmantes de nuestro tiempo: la conservación del medio ambiente.

La razón práctica de llevar a cabo esta revisión sistemática de la literatura (RSL) se fundamenta en que, no se ha identificado estudios de revisión que aborden el impacto integral de las actividades agrícolas en aspectos como suelo, agua y salud humana en relación con la sostenibilidad. Todos los estudios revisados han destacado algún tipo de impacto ambiental o la eficiencia en el uso de recursos en la agricultura; como la acumulación de la sal en las aguas subterráneas debido a la agricultura intensiva de riego [11], la cual representa el 70% del consumo global lo que significa

escasez del agua y contaminación [12], y la gestión del agua en la agricultura debido a la escasez del recurso hídrico y cambio climático [6]. Los estudios citados abordan problemas específicos, por ello estimamos que se hace necesaria una revisión más amplia. Investigaciones inéditas aún en desarrollo, a las que hemos tenido acceso, vienen analizando la importancia del compostaje, como contribuciones a una agricultura sostenible y amigable con el medio ambiente [13].

Por otro lado, el estudio tiene una justificación social, pues la agricultura sostenible es importante para la sociedad y la economía siendo fundamental, para la supervivencia humana, pues toda investigación debe tener un valor esencial en la sociedad al promover la difusión del conocimiento y la conciencia sobre la importancia de estas prácticas, estableciéndose una base sólida para futuras investigaciones y decisiones informadas en el ámbito agrícola [14].

El estudio se propuso investigar sobre cómo la contaminación agrícola contribuye en la afectación de la sostenibilidad ambiental. Se optó por la revisión sistemática como metodología, a fin de comprender la panorámica de las investigaciones efectuadas en la variable. La pregunta investigación propuesta fue la siguiente: ¿Cuál es el impacto de las actividades agrícolas contaminantes en la calidad del suelo, el agua y la salud humana en el sector agrícola? La búsqueda se efectuó en la base de datos Scopus y otras adicionales, fuera de la ecuación de búsqueda, para obtener una perspectiva más integral.

La estructura del estudio consta de cuatro secciones: la primera presenta la metodología, donde se detalla cómo se realizó la búsqueda y el proceso de selección, la segunda muestra los resultados recopilados de los estudios revisados, la tercera trata sobre la discusión de estos. Finalmente, se hicieron las conclusiones correspondientes.

II. METODOLOGÍA

Las revisiones sistemáticas de literatura son investigaciones que siguen una metodología específica para identificar, evaluar y sintetizar la evidencia disponible sobre un tema determinado [15].

TABLE I
Componentes de estrategia PICOC

IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN AGRÍCOLA EN LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA			
P	Población /Problema ¿Quién?	¿Cómo se ha definido la contaminación agrícola?	Actividades agrícolas contaminantes

I	Intervención /¿Qué? ¿Cómo?	¿Qué puedo hacer para mejorar el problema?	Lograr la sostenibilidad ambiental
C	Comparación / ¿Comparando con qué?	¿Hay otras opciones para solucionar el problema?	Prácticas agrícolas sostenibles
O	Resultados / ¿Qué está tratando de conseguir/mejorar?	¿De qué manera impactan las actividades agrícolas en el medio ambiente?	Afectación de la calidad del suelo, a gua y salud humana
C	Contexto / ¿En qué tipo de contexto?	¿En qué sector se ha investigado?	Sector agrícola

Pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto de las actividades agrícolas contaminantes en la calidad del suelo, el agua y la salud humana en el sector agrícola?

Pregunta específica: ¿Qué métodos de intervención sostenibles, podrían mejorar la sostenibilidad ambiental en el sector agrícola?

En la estrategia PICOC, el componente C, que corresponde al "comparador", no siempre se considera adecuadamente. Esto se debe a que, al formular la pregunta de investigación, a menudo, se responde a esta pregunta de manera implícita, por lo cual, se plantea como pregunta de un problema específico

Para asegurar el proceso de búsqueda, se establecieron los términos de la pregunta de investigación, tanto en español e inglés:

TABLE II
Términos en español e inglés.

	ESPAÑOL	INGLES
P	Impacto ambiental de la agricultura. Prácticas agrícolas Cultivos contaminantes Contaminación	Environmental impact of agriculture. Agricultural practices Pollutant crops Pollution
AND		
I	Sostenibilidad ambiental Conservación del medio ambiente Equilibrio ecológico	Environmental sustainability Environmental conservation Ecological balance
AND		
C	Prácticas agrícolas sostenibles Ecología Sostenibilidad	Sustainable agricultural practices Ecology Sustainability
AND		
O	Impacto del agua Impacto del suelo Daños a la salud Impacto en la degradación ambiental	Impact of water Impact of soil Damage to health. Environmental degradation impact
AND		
	Medio ambiente	Environment
AND		
C	Agraria Agricultura	Agrarian Agriculture

Como instrucciones de búsqueda se combinaron con operadores booleanos, para ello, se organizaron estas palabras claves en una ecuación de búsqueda en bases de datos como Scopus.

TABLA III
Ecuación de búsqueda.

	P	"Environmental impact of agriculture" OR "Impact of agriculture" OR "Agricultural practices" OR "Pollutant crops" OR "Pollution"
AND		
	I	"Environmental sustainability" OR "Environmental conservation" OR "Ecological balance"
AND		
	C	"Sustainable agricultural practices" OR "Ecology" OR "Sustainability"
AND		
	O	"Impact of water"OR "Impact of soil" OR "Damage to health" OR "Environmental degradation impact" "Enviroment"
AND		
	C	"Agrarian" OR "Agriculture"

Los estudios revisados debían cumplir con los siguientes requisitos de inclusión:

CI 1: Los estudios considerados estarán enfocados a cuestiones medioambientales, como la calidad del suelo, el agua y su impacto en la salud humana.

CI 2: Los estudios deben aplicar o detallar los métodos de prácticas agrícolas sostenibles

CI 3: Los documentos seleccionados deben haberse desarrollado en el ámbito de la agricultura.

CI 4: Deben reportar evaluaciones, medidas y estrategias para reducir el impacto de las actividades agrícolas contaminantes.

Los criterios de exclusión descartaron aquellos artículos que presenten características no deseadas como:

CE 1: Los estudios desarrollados en el aire o la ganadería, pues no son temas centrales de la investigación.

CE 2: Los artículos en idiomas diferentes al inglés y español, pues limitarían el alcance de la revisión.

CE 3: Documentos anteriores a 2018, pues la investigación en este campo ha avanzado significativamente en los últimos años.

Para la selección de los artículos se siguió la estrategia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses por sus siglas en inglés). Es una guía de referencia para realizar y presentar revisiones y metaanálisis en revisiones sistemáticas. Esta fue desarrollada para garantizar la transparencia, coherencia y calidad en la elaboración de revisiones sistemáticas, ofreciendo a los investigadores una guía metódica [16], simplificando la interpretación y evaluación de la calidad del estudio por otros investigadores.

En una primera etapa, se hizo una búsqueda electrónica basada en el examen de resúmenes y títulos de investigaciones. El propósito de esta exploración fue la identificación y localización de artículos pertinentes. Para alcanzar este objetivo, se evaluaron diversos artículos completos a fin de determinar cuáles debían ser excluidos debido a discrepancias o por no ajustarse al alcance de la investigación. Una vez seleccionados se procedió a su análisis exhaustivo. Como resultado de este proceso de selección, se obtuvieron inicialmente 120 artículos.

Debemos destacar que se establecieron criterios específicos para esta selección. Uno de estos señalaba que los artículos de investigación no deberían tener una antigüedad mayor a 5 o 6 años. Además, se implementó un criterio relacionado con los idiomas, trabajando exclusivamente con el inglés y el español. Además, los artículos identificados fueron registrados en una hoja de cálculo (Excel) con el detalle de información siguiente: título, autores, año de publicación, entre otros. Luego, se llevó a cabo la selección de aquellos relevantes. Esto se basó en los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos y asociados a la temática de medio ambiente, prácticas agrícolas, evaluaciones, medidas y estrategias abordadas específicamente en estos campos. Por otro lado, los criterios de exclusión tomaron como referencia los artículos relacionados con temas como el aire, la ganadería y publicaciones no académicas, como periódicos, notas de blogs, entre otros. Para la selección, se empleó la plataforma Scopus, rescatando los artículos pertinentes para el proyecto. Como resultado de este proceso, se identificaron un total de 34 estudios que se consideraron como relevantes.

La representación gráfica del proceso de selección de los estudios se presenta a través de un esquema que sigue los criterios PRISMA. El diagrama adjunto (Figura 1), muestra cómo se identificaron los estudios.

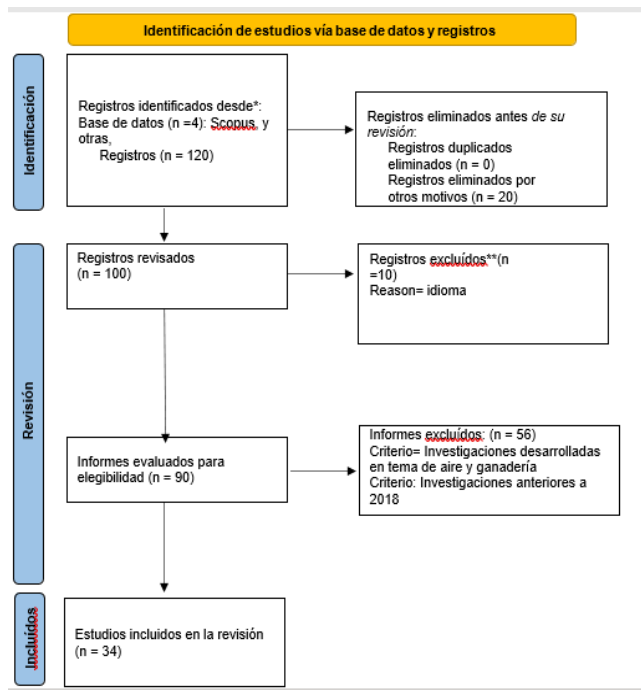


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA

III. RESULTADOS

La clasificación de los 34 artículos seleccionados tomó como criterio su área de incidencia. Posteriormente, se emprendió la lectura de cada uno con el propósito de extraer los datos pertinentes que permitieron identificar los temas y áreas de interés abordados en cada documento. En la Tabla 4, se ofrece una síntesis de los artículos seleccionados, destacando los objetivos y áreas temáticas correspondientes.

TABLA IV
Resumen de los artículos elegidos organizados por tema.

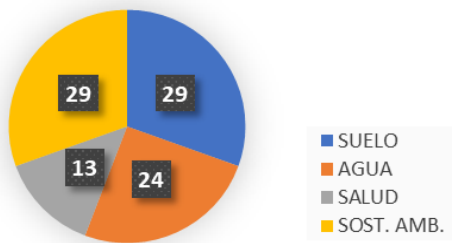
N° DE ART.	OBJETIVO	IMPACTO EN:				
		SUELO	AGUA	SALUD	SOST	AMB
1	Evaluar el impacto de la contaminación de los terrenos de cultivo en la agricultura y la actividad agrícola como contaminante del agua y el aire	X	X			X
2	Revisar sistemáticamente estudios de evaluación del ciclo de vida (ACV) por la evaluación y comparación del desempeño de 15 indicadores ambientales de sistemas de cultivos orgánico y convencional	X	X	X		X

3	Desarrollar un sistema integrado para evaluar cuantitativamente los riesgos de contaminación por el riego mediante aguas recuperadas en zonas con escasez de agua	X	X	X		X
4	Revisión de los principales aportes brindados por diversos investigadores respecto al impacto de los factores climáticos en la agricultura andina		X			X
5	Identificar las interacciones, compensaciones y sinergias entre biodiversidad, agricultura, cambio climático y comercio internacional.	X	X			X
6	Cuantificar la eficiencia en el uso del agua WUE (Water use efficiency), relación entre el peso fresco de la planta y el volumen de agua utilizado, para un ciclo de crecimiento de la lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>), mediante dos sistemas de cultivo diferentes: un sustrato de flujo y reflujo, cultivo y un sistema aeropónico de alta presión.	X	X			X
7	Revisar los aspectos claves de las políticas de gestión y administración del agua para el uso agrícola	X	X			X
8	Explorar en profundidad el mecanismo del impacto de la contaminación atmosférica en el comercio de exportación de productos agrícolas. Utilizando los datos de panel de 30 provincias de China de 2005 a 2019 para establecer un modelo de efectos fijos, y un modelo de efectos moderadores	X	X			X
9	Describir un sistema técnico que calcula con precisión el nivel de contaminantes que entran en el agua para comprender la situación de la contaminación agrícola difusa, incorporando factores de impacto críticos	X	X	X		X
10	Contribuir al debate sobre los factores determinantes de la deforestación como amenaza al desarrollo sostenible en las regiones tropicales en desarrollo, Analizar, desde principios científicos, cómo surge e identifica la salinización de la recarga de aguas subterráneas visto como casos en España, Argentina y Pakistán	X				X
11	Evaluar escenarios del control de drenaje en el balance hídrico del suelo asumiendo diversas condiciones meteorológicas, dinámica inicial de la capa freática subterránea, parámetros de la red de drenaje y prácticas de control del flujo de salida del drenaje en Polonia	X	X	X		X

13	Mejorar la gestión de residuos agrícolas por el compostaje y comprensión de los mecanismos y factores que influyen en el compostaje de residuos municipales, biomédicos, y los provenientes de cultivos discretos, Evaluar potencial de prácticas basadas en agricultura de conservación (AC), riego que ahorra agua, calidad del agua y dosis de fertilizantes nitrogenados (N) para mejorar la sostenibilidad de los cultivos de arroz-trigo (RWS) y algodón-trigo. (CWS) en tierras secas irrigadas afectadas por la sal		X	X	X	25	Explorar cómo influye el cambio de uso del suelo (LUC) en la cantidad y calidad del agua de recarga es importante para la sostenibilidad de las aguas subterráneas y la planificación del uso del suelo Revisar, 18 estudios primarios basados en 7 criterios para proporcionar un análisis exhaustivo sobre la toxicidad de los nano- agroquímicos y sus métodos convencionales homólogos en organismos acuáticos.	X	X			X
17	Evaluar críticamente los impactos de los sistemas convencionales y de conservación en la salud del suelo, el secuestro de carbono, las emisiones de GEI, los patrones de cultivo, la dinámica de las malezas y la degradación ambiental	X	X			26	Dar una visión general del efecto genotóxico causado por los nanopesticidas en células animales ofreciendo una base y una revisión crítica para facilitar futuras investigaciones.	X	X	X		X
18	Impacto en la salud del suelo de dos tipos de labranza de conservación (sembradora directa y sin inversión superficial) con el arado con vertedera convencional después de cinco años (2013-2018) de adopción dentro del DTC del río Wensum	X			X	27	Describir ls patógenos microbianos que pueden estar presentes en los digestatos y compost y la visión general de la actual normativa europea diseñada para mitigar los peligros para la salud relacionados con el uso de abonos	X	X	X		X
19	Aplicación del método de remediación de suelo a través del biocarbón magnético para combatir los contaminantes del agua	X	X			28	Revisar las repercusiones de la escasez mundial de agua dulce, la gestión de los recursos hídricos y las prácticas de control, las tecnologías más avanzadas de tratamiento de aguas (residuales) y la experiencia de reutilización de aguas regeneradas.	X			X	X
20	Explorar el efecto de las estrategias de gestión basadas en el trigo sobre la productividad de los cultivos y las emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema trigo-maíz., utilizando el modelo DNDC	X	X		X	29	Evaluar los efectos de la rotación de cultivos, la labranza de conservación y las estrategias de bajos insumos sobre la calidad del suelo y el rendimiento agrícola mediante un conjunto de 7 indicadores basados en un enfoque de lógica difusa.	X	X	X		X
21	Recopilar la literatura científica producida sobre la pérdida de biodiversidad causada por la agricultura intensiva y el cambio climático.	X	X	X	X	30	Evaluar el efecto de del riego con aguas residuales tratadas en las características agronómicas, fotosintéticas, estomáticas y nutricionales en plantaciones de cebada.	X				X
22	Evaluar algunos enfoques para reducir la lixiviación de nitratos eny los huertos, como el uso de cubiertas vegetales, la aplicación de fertilizantes de liberación controlada de N, la adición de inhibidores de la nitrificación	X			X	31	Evaluar la calidad física del suelo Oxisol fertilirrigado con efluente de aguas residuales tratadas (EET).	X	X	X		X
23	Describir un modelo ecofisiológico de interacción planta-plaga y un análisis de decisión multicriterio para optimizar la gestión de los cultivos teniendo considerando maximizar la producción de los cultivos y minimizar el impacto ambiental	X	X		X	32	Ofrecer una visión detallada de los recientes avances en agroquímicos basados en nanotecnologías que han transformado el sector agrícola con un mejor crecimiento de las plantas, rendimiento de los cultivos, remediación del suelo	X	X	X		X
24						33		X	X	X		X

34	Identificar y caracterizar los principales métodos de evaluación de la salud ambiental para examinar una amplia gama de impactos potenciales	X	X	X
----	--	---	---	---

De forma similar la Fig. 2 muestra la identificación de las temáticas más relevantes de las investigaciones efectuadas siendo estas las relacionadas al suelo y el agua.



La Fig. 2, Identificación de temáticas

La Fig. 3, muestra el número de investigaciones encontradas por año para la revisión sistemática de literatura.

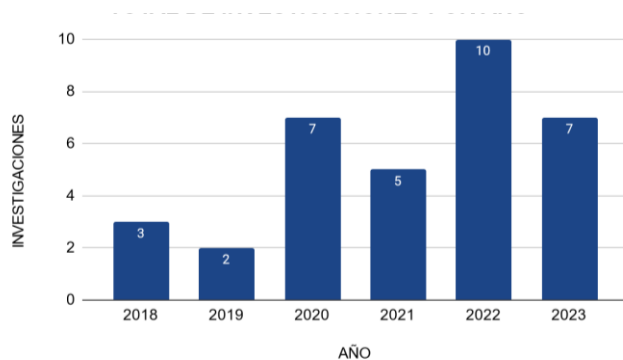


Fig. 3 Investigaciones por año

Luego del análisis, se destaca la antigüedad de los documentos examinados, que abarcan del 2018 al 2023.

La Fig. 4, muestran el número de investigaciones encontrados por base de datos trabajada

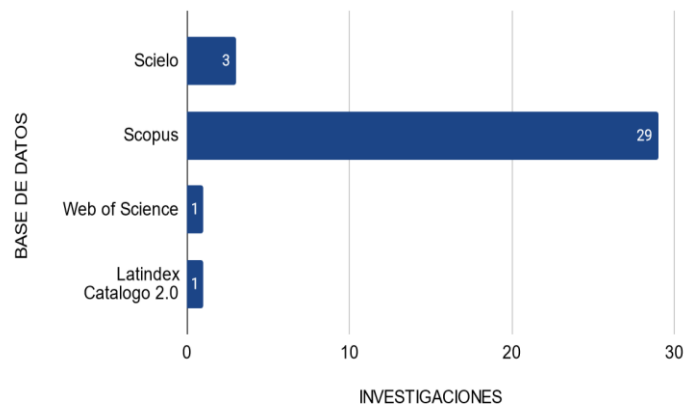


Fig. 4 Investigaciones por año

IV. DISCUSIONES

Estudios previos han demostrado que la contaminación agrícola es un problema global que afecta la sostenibilidad del medio ambiente y la salud humana.

Respecto a los temas referidos a suelo y agua, los autores recalcan que la contaminación agrícola tiene múltiples fuentes, rutas y efectos en el medio ambiente y la salud humana, que varían según el contexto geográfico, climático, socioeconómico y cultural. En el aspecto del impacto asociado a los suelos. Estas investigaciones han priorizado estudios relacionados con la salinidad, la alteración de la biodiversidad microbiana, así como la degradación y alteración de estas características iniciales [17].[18].[19].[20].[21].[22].[3].[23].[24].[25].

En cuanto a la acumulación de la basura y su descomposición, estos llevan consigo la lixiviación y pérdida de diversidad microbiana que altera las características iniciales del suelo [18].[26]. De forma similar, las investigaciones respecto al impacto del agua efectuados por [17].[18].[19].[20].[25].[26].[3].[22].[23].[24]. están referidos a la salinidad, el agotamiento y concentraciones de químicos en las aguas subterráneas como producto de la lixiviación en los suelos de cultivo. Los hallazgos evidencian los peligros que representan las aguas subterráneas contaminadas. Asimismo, la explotación de los recursos hídricos para el riego representa una alarma por la reducción del flujo de agua. [23]

A partir de los resultados de estas investigaciones, se prevé que la contaminación agrícola es un problema ambiental grave y complejo que afecta a la sostenibilidad ambiental y la salud de las personas en todo el mundo, y que las medidas de prevención, control y mitigación de la contaminación agrícola son necesarias y factibles.

Las pocas investigaciones referidas a los temas de salud humana enfocados en el bienestar de las personas han señalado los riesgos genotóxicos asociados con el uso de plaguicidas, los cuales representan amenazas para órganos vitales como los pulmones, el sistema inmunológico e incluso

vinculados con la incidencia de cáncer. Este hallazgo refuerza la importancia de profundizar las investigaciones. [27]

La investigación acerca de fertilizantes naturales como el estiércol, ha sido abordada por [28]. Esta analiza las características de los digestatos y de fertilizantes naturales como el compost, sin explorar exhaustivamente los riesgos asociados con otras formas de fertilización, y la aplicación de técnicas como la solarización y el cumplimiento a la "normativa francesa NFU 44-051", que establece criterios microbiológicos detallados.

Otra causa de preocupación identificada en la literatura es la capacidad carcinogénica, genotóxica y reproductiva de los plaguicidas, destacando que el 80% de los casos de intoxicación por plaguicidas se registran en países en vías de desarrollo [27]. Además, estos productos constituyen el 63% de productos tóxicos y peligrosos [22].

La reutilización de aguas residuales, señalada como una opción potencial para abordar la escasez de agua y contribuir al desarrollo sostenible presenta matices críticos [29]. A pesar de sus beneficios, esta práctica conlleva riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente, por la presencia de contaminantes emergentes en las aguas residuales reutilizadas, como microplásticos, pesticidas y metales pesados, así como la exposición a niveles elevados de nitrato en el agua potable [23]. En esa medida, es importante considerar la complejidad y necesidad de abordar con precaución la reutilización de aguas residuales como estrategia para garantizar la seguridad de la salud pública y la integridad ambiental.

Luego de la revisión surge un cuestionamiento en cuanto a si los métodos de intervención sostenibles podrían mejorar la sostenibilidad ambiental en el sector agrícola. Al respecto la revisión, ha explorado diversos métodos de intervención sostenibles con el fin de mejorar la sostenibilidad ambiental en el sector agrícola. Se destaca que la labranza de conservación se presenta como una práctica con menor alcance invasivo y notables impactos positivos en la salud ambiental [18], como mejorar la capacidad de contenido de agua, la tasa de infiltración, reducción de la erosión y la escorrentía del suelo del campo de cultivo [30]. [17] ya que, al no requerirse el arado del suelo, se evita la interrupción de la biodiversidad microbiana.

En contraste, se observa el interés global por el uso de aguas residuales tratadas para el riego, [31] una práctica que promueve el reciclado del agua y la aplicación de la fertirrigación, contribuyendo a la reducción del consumo de aguas subterráneas o superficiales. No obstante, esta aplicación tiene consecuencias desfavorables, como la salinización y la alteración de la estructura del suelo, afectando aspectos como la tasa de infiltración y la porosidad, entre otros [32].

Adicionalmente, es importante resaltar la eficacia de los nano fertilizantes como una estrategia innovadora para potenciar la eficiencia de los recursos, aumentar la producción vegetal y mitigar la contaminación. Una visión alentadora que no solo tiene el potencial de mejorar los rendimientos de forma sostenible, sino que también proporciona una

alternativa innovadora y complementaria a las prácticas agrícolas convencionales. Su implementación representa un avance considerable hacia la sostenibilidad ambiental en la agricultura [33].

Esta diversidad de enfoques resalta la complejidad de las decisiones en la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. Aunque la labranza de conservación muestra menor impacto en la salud del suelo, la utilización de aguas residuales tratadas y la fertirrigación presentan ventajas en la gestión hídrica, pero no están exentas de desventajas que requieren atención cuidadosa en su implementación. Al considerar estas alternativas, es crucial realizar evaluaciones integrales que tengan en cuenta las condiciones específicas de cada entorno y las posibles interacciones entre las distintas prácticas sostenibles.

Como parte de la revisión es importante reconocer que se han encontrado algunas limitaciones, como la heterogeneidad de los métodos empleados, los indicadores y los resultados de los estudios revisados y la, escasa cantidad de investigaciones que cumplieran con los criterios establecidos

A modo de sugerencia, para futuros estudios se propone profundizar en la evaluación del impacto ambiental en contextos específicos como estudios en entornos agrícolas específicos mediante la aplicación de herramientas reconocidas como la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y el modelo de Evaluación Integrada (IAM) [34]. Esta última, ampliamente utilizada en Europa, aborda diversas dimensiones para proporcionar un conocimiento integral que resulta fundamental en la toma de decisiones. La aplicación de estas herramientas en investigaciones reales, específicamente en campos de cultivo identificados, permitirá una comprensión más precisa y detallada de los efectos de la agricultura no sostenible en entornos concretos. Además, se sugiere complementar estas evaluaciones con la aplicación de tecnologías y los métodos sostenibles previamente mencionados.

V. CONCLUSIONES

Se logró el objetivo del estudio, realizar una revisión sistemática de la literatura sobre el impacto de la contaminación agrícola en la sostenibilidad ambiental. Se identificaron y analizaron 34 estudios relevantes, siguiendo la metodología PICOC y los criterios PRISMA, que proporcionaron evidencias sobre el problema planteado desde diferentes perspectivas y contextos.

Se encontraron varios resultados importantes sobre el tema de estudio, tales como: la contaminación agrícola que afecta negativamente la calidad del suelo, el agua y la salud de las personas. Existen diversas fuentes y tipos de contaminantes agrícolas. Entre estos: los fertilizantes, los plaguicidas, los residuos orgánicos y los metales pesados requiriéndose

medidas de prevención, control y mitigación para reducir el impacto de la contaminación agrícola en el medio ambiente.

Asimismo, la sinergia entre las evaluaciones específicas en campo y la aplicación de tecnologías sostenibles no sólo posibilitará la medición precisa del impacto ambiental actual en entornos agrícolas específicos, sino que también abrirá la puerta a la exploración de soluciones concretas y adaptadas a circunstancias particulares. Este enfoque integral se presenta como una herramienta esencial, proporcionando datos más precisos y aplicables. Estos resultados ayudarán en la toma de decisiones promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Se reconocen algunas limitaciones y recomendaciones para el estudio, como: la falta de estudios recientes, sobre el tema; la heterogeneidad de los métodos, los indicadores y los resultados de los estudios revisados; y la necesidad de realizar más investigaciones empíricas, interdisciplinarias y comparativas sobre el impacto de la contaminación agrícola en la sostenibilidad ambiental.

REFERENCIAS

- [1] H. Harizanov-Bartos y Z. Stoyanova, «IMPACT OF AGRICULTURE ON SOIL POLLUTION IN BULGARIA», *Economics of Agriculture*, vol. 66, n.º 2, Art. n.º 2, jun. 2019, doi: 10.5937/ekoPolj1902375H.
- [2] M. Boschiero, V. De Laurentis, C. Caldeira, y S. Sala, «Comparison of organic and conventional cropping systems: A systematic review of life cycle assessment studies», *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 102, p. 107187, sep. 2023, doi: 10.1016/j.eiar.2023.107187.
- [3] W. Wu, R. Liao, Y. Hu, H. Wang, H. Liu, y S. Yin, «Quantitative assessment of groundwater pollution risk in reclaimed water irrigation areas of northern China», *Environmental Pollution*, vol. 261, p. 114173, jun. 2020, doi: 10.1016/j.envpol.2020.114173.
- [4] A. Lozano-Povis, C. E. Alvarez-Montalván, y N. Moggiano, «El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática», *Scientia Agropecuaria*, vol. 12, n.º 1, Art. n.º 1, mar. 2021, doi: 10.17268/sci.agropecu.2021.012.
- [5] A. M. D. Ortiz, C. L. Outhwaite, C. Dalin, y T. Newbold, «A review of the interactions between biodiversity, agriculture, climate change, and international trade: research and policy priorities», *One Earth*, vol. 4, n.º 1, pp. 88-101, ene. 2021, doi: 10.1016/j.oneear.2020.12.008.
- [6] L. Carotti *et al.*, «Improving water use efficiency in vertical farming: Effects of growing systems, far-red radiation and planting density on lettuce cultivation», *Agricultural Water Management*, vol. 285, p. 108365, jul. 2023, doi: 10.1016/j.agwat.2023.108365.
- [7] G. Donoso, «Management of Water Resources in Agriculture in Chile and its Challenges», *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, vol. 48, n.º 3, Art. n.º 3, dic. 2021, doi: 10.7764/ijanr.v48i3.2328.
- [8] H. Chen, J. Zhou, J. Liang, D. Zang, M. Ankrah Twumasi, y Q. Shen, «Study on the Impact of Air Pollution on Agricultural Export Trade», *Sustainability*, vol. 15, n.º 3, Art. n.º 3, ene. 2023, doi: 10.3390/su15031775.
- [9] J. Zhou, X. Liu, X. Liu, W. Wang, y L. Wang, «Assessing agricultural non-point source pollution loads in typical basins of upper Yellow River by incorporating critical impacting factors», *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 177, pp. 17-28, sep. 2023, doi: 10.1016/j.psep.2023.07.003.
- [10] A. O. Acheampong y E. E. O. Opoku, «Energy justice, democracy and deforestation», *Journal of Environmental Management*, vol. 341, p. 118012, sep. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118012.
- [11] S. Foster, A. Pulido-Bosch, Á. Vallejos, L. Molina, A. Llop, y A. M. MacDonald, «Impact of irrigated agriculture on groundwater-recharge salinity: a major sustainability concern in semi-arid regions», *Hydrogeol J*, vol. 26, n.º 8, pp. 2781-2791, dic. 2018, doi: 10.1007/s10040-018-1830-2.
- [12] M. Sojka *et al.*, «Sustainable Water Management in Agriculture—The Impact of Drainage Water Management on Groundwater Table Dynamics and Subsurface Outflow», *Sustainability*, vol. 11, n.º 15, Art. n.º 15, ene. 2019, doi: 10.3390/su11154201.
- [13] M. Waqas *et al.*, «Composting Processes for Agricultural Waste Management: A Comprehensive Review», *Processes*, vol. 11, n.º 3, Art. n.º 3, mar. 2023, doi: 10.3390/pr11030731.
- [14] V. H. F. Bedoya, «Tipos de justificación en la investigación científica», *Espi-ritu Emprendedor TES*, vol. 4, n.º 3, Art. n.º 3, jul. 2020, doi: 10.33970/eetes.v4.n3.2020.207.
- [15] M. Newman y D. Gough, «Systematic Reviews in Educational Research: Methodology, Perspectives and Application», en *Systematic Reviews in Educational Research: Methodology, Perspectives and Application*, O. Zawacki-Richter, M. Kerres, S. Bedenlier, M. Bond, y K. Buntins, Eds., Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2020, pp. 3-22. doi: 10.1007/978-3-658-27602-7_1.
- [16] M. J. Page *et al.*, «The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews», *BMJ*, vol. 372, p. n71, mar. 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [17] K. P. Devkota, M. Devkota, M. Rezaei, y R. Oosterbaan, «Managing salinity for sustainable agricultural production in salt-affected soils of irrigated drylands», *Agricultural Systems*, vol. 198, p. 103390, abr. 2022, doi: 10.1016/j.agry.2022.103390.
- [18] M. Sanaullah, M. Usman, A. Wakeel, S. A. Cheema, I. Ashraf, y M. Farooq, «Terrestrial ecosystem functioning affected by agricultural management systems: A review», *Soil and Tillage Research*, vol. 196, p. 104464, feb. 2020, doi: 10.1016/j.still.2019.104464.
- [19] R. J. Cooper *et al.*, «Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018)», *Soil and Tillage Research*, vol. 202, p. 104648, ago. 2020, doi: 10.1016/j.still.2020.104648.
- [20] M. D. Gillingham, R. L. Gomes, R. Ferrari, y H. M. West, «Sorption, separation and recycling of ammonium in agricultural soils: A viable application for magnetic biochar?», *Science of The Total Environment*, vol. 812, p. 151440, mar. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151440.
- [21] C. Wang *et al.*, «Exploring wheat-based management strategies to balance agricultural production and environmental sustainability in a wheat–maize cropping system using the DNDC model», *Journal of Environmental Management*, vol. 307, p. 114445, abr. 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.114445.
- [22] S. E. Reyes-Palomino y D. M. Cano Ccoa, «Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad», *Revista de Investigaciones Altoandinas*, vol. 24, n.º 1, pp. 53-64, ene. 2022, doi: 10.18271/ria.2022.328.
- [23] M. Cui, L. Zeng, W. Qin, y J. Feng, «Measures for reducing nitrate leaching in orchards: A review», *Environmental Pollution*, vol. 263, p. 114553, ago. 2020, doi: 10.1016/j.envpol.2020.114553.
- [24] M. Zaffaroni y D. Bevacqua, «Maximize crop production and environmental sustainability: Insights from an ecophysiological model of plant-pest interactions and multi-criteria decision analysis», *European Journal of Agronomy*, vol. 139, p. 126571, sep. 2022, doi: 10.1016/j.eja.2022.126571.
- [25] Y. Huang, Q. Chang, y Z. Li, «Land use change impacts on the amount and quality of recharge water in the loess tablelands of China», *Science of The Total Environment*, vol. 628-629, pp. 443-452, jul. 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.076.
- [26] Y. Zhang y G. G. Goss, «Nanotechnology in agriculture: Comparison of the toxicity between conventional and nano-based agrochemicals on non-target aquatic species», *Journal of Hazardous Materials*, vol. 439, p. 129559, oct. 2022, doi: 10.1016/j.jhazmat.2022.129559.

- [27] C. Paz-Trejo, A. R. Flores-Márquez, y S. Gómez-Arroyo, «Nanotechnology in agriculture: a review of genotoxic studies of nanopesticides in animal cells», *Environ Sci Pollut Res*, vol. 30, n.º 25, pp. 66473-66485, may 2023, doi: 10.1007/s11356-023-26848-y.
- [28] P. Piveteau, C. Druilhe, y L. Aissani, «What on earth? The impact of digestates and composts from farm effluent management on fluxes of foodborne pathogens in agricultural lands», *Science of The Total Environment*, vol. 840, p. 156693, sep. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156693.
- [29] J. Fito y S. W. H. Van Hulle, «Wastewater reclamation and reuse potentials in agriculture: towards environmental sustainability», *Environ Dev Sustain*, vol. 23, n.º 3, pp. 2949-2972, mar. 2021, doi: 10.1007/s10668-020-00732-y.
- [30] S. Vanino *et al.*, «A comprehensive assessment of diversified cropping systems on agro-environmental sustainability in three Mediterranean long-term field experiments», *European Journal of Agronomy*, vol. 140, p. 126598, oct. 2022, doi: 10.1016/j.eja.2022.126598.
- [31] A. Alvarez-Holguin *et al.*, «The Impact of Treated Wastewater Irrigation on the Metabolism of Barley Grown in Arid and Semi-Arid Regions», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, n.º 4, Art. n.º 4, ene. 2022, doi: 10.3390/ijerph19042345.
- [32] A. P. Coelho, M. F. da Silva, R. T. de Faria, C. Fernandes, G. de F. Dantas, y G. O. Santos, «Long-term impact of fertigation with treated sewage effluent on the physical soil quality», *Environmental Pollution*, vol. 266, p. 115007, nov. 2020, doi: 10.1016/j.envpol.2020.115007.
- [33] F. Khan, P. Pandey, y T. K. Upadhyay, «Applications of Nanotechnology-Based Agrochemicals in Food Security and Sustainable Agriculture: An Overview», *Agriculture*, vol. 12, n.º 10, Art. n.º 10, oct. 2022, doi: 10.3390/agriculture12101672.
- [34] L. Grout, S. Hales, N. French, y M. G. Baker, «A Review of Methods for Assessing the Environmental Health Impacts of an Agricultural System», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, n.º 7, Art. n.º 7, jul. 2018, doi: 10.3390/ijerph15071315.