



**Universidad César Vallejo**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Efectos de la agricultura de precisión en la reducción de la  
contaminación del agua: Una Revisión sistemática de los últimos  
5 años**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Ambiental**

**AUTORES:**

Barrera Manero, Alexsander Eduardo ([orcid.org/0000-0001-8254-9870](https://orcid.org/0000-0001-8254-9870))

Velásquez Sandoval, Shirley Patricia ([orcid.org/0000-0002-1297-5070](https://orcid.org/0000-0002-1297-5070))

**ASESOR:**

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom ([orcid.org/0000-0002-0803-1261](https://orcid.org/0000-0002-0803-1261))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2023

## DEDICATORIA

Le dedico el resultado de este trabajo a dios toda mi familia. Principalmente, a mis padres y hermana que me apoyaron y contuvieron los momentos malos y en los menos malos. Gracias por enseñarme a afrontar las adversidades de la vida sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño.

También, quiero dedicarle este trabajo a mi esposa y a mi hijo. Su nacimiento, ha coincidido con la finalización de esta tesis. Sin duda es lo mejor que me ha pasado, ha llegado en el momento justo para darme el último empujón que me faltaba para terminar el proyecto.

Barrera Manero, Alexander Eduardo

Quiero dedicar este gran logro, primero que todo a mis padres Giovanni y Patricia, mis mayores ejemplos, quienes con mucho esfuerzo me permitieron lograr una de mis grandes metas, gracias por enseñarme a valorar cada logro, de no tenerle miedo al futuro y a las dificultades que pueda traer esta, sé que ustedes siempre estarán ahí para apoyarme al igual que Dios siempre está conmigo.

Dedicar también este logro a mi hermano Christian por su apoyo y cariño incondicional, durante todo este camino, por estar a mi lado en todo momento. A toda mi familia porque con sus consejos, oraciones y palabras me hicieron una mejor persona y de una forma u otra me acompañaron en todas mis metas y sueños.

Velasquez Sandoval Shirley Patricia

## **AGRADECIMIENTO**

De pequeño me enseñaron a dar gracias por las cosas buenas (y también malas) de la vida. Por eso, en esta tesis voy a agradecer.

A Rosa María Manero, por darme la vida y la posibilidad de experimentar lo maravillosa que es.

A Alejandro Antonio Barrera, por enseñarme a no bajar los brazos nunca.

Maria Luisa Barrera, hermana del alma, gracias por existir.

Y, por supuesto, a ti Estefani Neyra , te agradezco todo el amor que me das y la inspiración que me generas para seguir adelante.

A todos ustedes, y a los que me faltó nombrar les digo gracias.

Barrera Manero, Alexander Eduardo

Agradezco a Dios por darme sabiduría y salud, por estar siempre en mis mejores y peores momentos.

También agradecer a mi familia en especial a mis abuelitos Alejandro, Blanca, Ricardo y Soriana, por el apoyo incondicional, por quererme mucho y por siempre alentarme a seguir adelante para cumplir mis objetivos y perseguir mis metas y sueños.

Finalmente, pero no menos importante, agradecer a toda la Facultad de Ingeniería Ambiental, a mis profesores quienes con la gran enseñanza de sus conocimientos hicieron que pueda crecer en este proyecto como profesional, gracias a cada uno de ustedes por la dedicación, el apoyo frecuente, la paciencia y la amistad”.

Velasquez Sandoval, Shirley Patricia

## Declaratoria de Autenticidad del Asesor



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LOZANO SULCA YIMI TOM, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Efectos de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua: Una Revisión sistemática de los últimos 5 años", cuyos autores son VELASQUEZ SANDOVAL SHIRLEY PATRICIA, BARRERA MANERO ALEXSANDER EDUARDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 18.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 01 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LOZANO SULCA YIMI TOM DNI: 41134872 ORCID: 0000-0002-0803-1261	Firmado electrónicamente por: YTLOZANOS el 01- 12-2023 14:18:52

Código documento Trilce: TRI - 0676216

## Declaratoria de Originalidad de los Autores



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, BARRERA MANERO ALEXSANDER EDUARDO, VELASQUEZ SANDOVAL SHIRLEY PATRICIA estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Efectos de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua: Una Revisión sistemática de los últimos 5 años", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
VELASQUEZ SANDOVAL SHIRLEY PATRICIA <b>DNI:</b> 70452846 <b>ORCID:</b> 0000-0002-1297-5070	Firmado electrónicamente por: SVELASQUEZ70 el 04-12-2023 15:20:13
BARRERA MANERO ALEXSANDER EDUARDO <b>DNI:</b> 70331656 <b>ORCID:</b> 0000-0001-8254-9870	Firmado electrónicamente por: ALBARRERAMA el 04-12-2023 15:17:23

Código documento Trilce: INV - 1532348

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor.....	iv
Declaratoria de Originalidad de los Autores .....	v
Índice de contenido .....	vi
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen .....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	15
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización .....	16
3.3. Escenario de estudio .....	16
3.4. Participantes.....	17
3.5. Técnica e instrumento de recolección de datos .....	17
3.6. Procedimiento.....	18
3.7. Rigor científico.....	20
3.8. Aspectos éticos .....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
V. CONCLUSIONES.....	36
VI. RECOMENDACIONES.....	37
REFERENCIA.....	38
ANEXOS	

## Índice de tablas

Tabla 1.	Estudios de investigación sobre la agricultura de precisión en los últimos 5 años.....	22
Tabla 2.	Eficacia de las tecnologías de agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua.....	30
Tabla 3.	Desafíos, limitaciones y estrategias para la adopción de la agricultura de precisión en la mitigación de la contaminación hídrica. ....	34

## Índice de figuras

Figura 1. Factores que afectan el destino del N y P en la agricultura .....	10
Figura 2. Ciclo de agricultura de precisión.....	12
Figura 3. Criterios de inclusión y exclusión.....	19



## Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo analizar los efectos de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua, para lo cual aplicó una metodología de tipo aplicada de diseño sistemático.

Los estudios de investigación sobre la agricultura de precisión (AP) en los últimos 5 años utilizan como método los Nanosensores (NS) e Información geográfica (SIG). La eficacia de las tecnologías de agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua es eficiente en todos los casos; ya que permite mediante los métodos utilizados disminuir eficientemente los contaminantes presentes. Las limitaciones y desafíos de la implementación de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua, demuestra que las técnicas utilizadas son eficientes, pero para una reducción de la contaminación del agua es mejor aplicado los Nanosensores (NS), ya que, en el caso de la Información geográfica (SIG) basados en visión manual y por computadora no pueden satisfacer los requisitos de la agricultura de precisión debido al entorno y los objetivos únicos de la agricultura.

**Palabras clave:** agricultura, contaminación, eficiencia, tecnología

## **Abstract**

The present work aims to analyze the effects of precision agriculture in the reduction of water pollution, for which it applied a systematic design applied type methodology.

Research studies on precision agriculture (PA) in the last 5 years use Nanosensors (NS) and Geographic Information Systems (GIS) as a method. The effectiveness of precision agriculture technologies in reducing water pollution is efficient in all cases; as it allows through the methods used to efficiently decrease the pollutants present. The limitations and challenges of the implementation of precision agriculture in the reduction of water pollution, shows that the techniques used are efficient, but for a reduction of water pollution is better applied Nanosensors (NS), since, in the case of Geographic Information (GIS) based on manual and computer vision can not meet the requirements of precision agriculture due to the environment and the unique objectives of agriculture.

**Keywords:** agriculture, pollution, efficiency, technology.

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura representa una pieza clave en la economía global, desempeñando un papel crucial en el suministro de alimentos y en la provisión de recursos esenciales para la fabricación de diversos productos y servicios. Sin embargo, esta actividad no está exenta de desafíos, siendo uno de ellos su potencial impacto negativo en el medio ambiente, particularmente en lo que respecta a la calidad del agua. La aplicación intensiva de fertilizantes y pesticidas, junto con la erosión del suelo y la escorrentía, son aspectos problemáticos de la agricultura convencional que pueden deteriorar la calidad del agua, tal como señalan Machín-Rivero y colegas en 2021. Estos problemas ambientales no solo ponen en riesgo la salud humana, sino que también amenazan el equilibrio ecológico, lo que hace imprescindible la búsqueda y la implementación de métodos para mitigar la contaminación hídrica originada en las prácticas agrícolas.

En este contexto, la agricultura de precisión emerge como una solución prometedora. A través de la implementación de tecnologías avanzadas en el ámbito de la información y la comunicación, esta modalidad de agricultura busca optimizar la producción de cultivos, alineando la eficiencia productiva con la sostenibilidad ambiental. El impacto ambiental de la agricultura convencional se puede reducir mediante el uso de esta estrategia para aplicar insumos agrícolas como fertilizantes y pesticidas de manera más eficiente y efectiva (García-Torres et al., 2017). Por lo tanto, es crucial realizar investigaciones para explorar si la agricultura de precisión puede ser efectiva como un enfoque para atenuar los impactos ambientales adversos asociados con las prácticas agrícolas convencionales. Esta investigación debería centrarse en evaluar la capacidad de la agricultura de precisión para minimizar la contaminación del agua, un aspecto crítico para el mantenimiento de un entorno ecológico saludable y para la protección de la salud pública.

La revisión sistemática es una metodología que permite la evaluación crítica y sistemática de la literatura científica sobre un tema específico. Esta metodología es útil para sintetizar la información disponible y para identificar las tendencias y brechas de conocimiento en un área determinada (Liberati et al., 2009). Realizar una revisión sistemática de la literatura sobre la influencia de la agricultura de precisión en la disminución de la contaminación hídrica puede aportar información esencial para comprender su efecto tanto en la calidad del agua como en la salud pública.

Esta revisión es vital para informar decisiones sobre la gestión ambiental en el sector agrícola. La investigación en esta área es especialmente relevante desde una perspectiva social, ya que la agricultura constituye una base económica fundamental para numerosas comunidades rurales. La adopción de prácticas y tecnologías avanzadas en la agricultura de precisión puede no solo incrementar la eficiencia y rentabilidad de la producción agrícola, sino también proporcionar ventajas económicas significativas para estas comunidades, según Díaz-Ambrona y colaboradores en 2018.

Esta revisión sistemática es crucial para identificar cuáles prácticas y tecnologías específicas de la agricultura de precisión son más efectivas para mitigar la contaminación del agua. También es importante para revelar limitaciones y lagunas en el conocimiento existente, orientando así futuras decisiones en la gestión ambiental de la agricultura. En un contexto donde la contaminación del agua es un desafío ambiental global, y la agricultura se destaca como una fuente principal de esta contaminación, investigar el potencial de la agricultura de precisión para abordar este problema se convierte en una necesidad imperativa. Tal revisión no solo actualizará el conocimiento existente, sino que también identificará áreas que necesitan mayor investigación y ofrecerá recomendaciones para estudios futuros, contribuyendo a una gestión más sostenible y económicamente viable de la agricultura.

Por consiguiente, para evaluar el impacto de la agricultura de precisión en la disminución de la contaminación del agua, se formula la siguiente cuestión principal: ¿De qué manera la agricultura de precisión puede desempeñar un papel significativo en la disminución de la contaminación del agua?

Así mismo los siguientes problemas específicos:

- ¿Qué investigaciones se han realizado en el campo de la agricultura de precisión durante los últimos cinco años?
- ¿Cuáles son las tecnologías de agricultura de precisión más eficaces para reducir la contaminación del agua?
- ¿Cuáles son los obstáculos y retos asociados con la aplicación de la agricultura de precisión para disminuir la contaminación del agua?

En consecuencia, se establece el siguiente objetivo principal: Examinar el impacto de la agricultura de precisión en la disminución de la contaminación hídrica.

Mientras que los objetivos específicos son:

- Determinar los estudios realizados en el área de la agricultura de precisión durante los últimos cinco años.
- Examinar la efectividad de las tecnologías de agricultura de precisión en la disminución de la contaminación hídrica.
- Investigar los obstáculos y dificultades que se presentan al implementar la agricultura de precisión para reducir la contaminación del agua.

El estudio propuesto ofrecerá una justificación teórica: La revisión sistemática ayudará a entender mejor la efectividad de la agricultura de precisión en la mitigación de la contaminación del agua, destacando las tecnologías más eficientes y los desafíos y limitaciones de su aplicación.

En cuanto a la justificación práctica: esta revisión sistemática en el campo de la ingeniería ambiental facilitará la identificación y evaluación de los progresos en el conocimiento respecto a las variables seleccionadas. Esto podría influir significativamente en el diseño y la implementación de tecnologías ambientales enfocadas en resolver problemas concretos.

Justificación social: la revisión sistemática podría aportar a la comprensión de la comunidad en general sobre los problemas ambientales y cómo se están abordando. Esta iniciativa podría contribuir a aumentar la conciencia y sensibilización de la población acerca de la relevancia de preservar el medio ambiente y fomentar prácticas sostenibles.

Justificación ambiental: Resulta clara, puesto que la revisión se enfocará en identificar y examinar tecnologías ambientales y su aplicación en la resolución de problemas específicos, lo cual puede aportar a la mejora y preservación del entorno natural.

Justificación económica: es que los resultados de la revisión pueden tener implicaciones para la industria y los sectores productivos, ya que podrían ser utilizados para mejorar procesos productivos y reducir costos asociados a la gestión de residuos y otros problemas ambientales. Adicionalmente, pueden surgir oportunidades para el desarrollo de nuevos productos y servicios ambientales fundamentados en las tecnologías identificadas.

## II. MARCO TEÓRICO

La revisión de antecedentes es crucial para contextualizar el problema de investigación y comprender su importancia histórica y teórica. Además, la revisión de antecedentes permite identificar lagunas en el conocimiento actual y plantear soluciones innovadoras que contribuyan al progreso científico.

Por ello, a nivel internacional se presentan los siguientes antecedentes:

La estrategia de la agricultura de precisión se ha desarrollado para optimizar la gestión de recursos naturales en el sector agrícola. Esta revisión sistemática se centra en evaluar cómo esta técnica influye en la disminución de la contaminación hídrica. La metodología aplicada consistió en una revisión exhaustiva de artículos científicos publicados en los últimos cinco años, obtenidos de diversas bases de datos internacionales. Los hallazgos revelan que la agricultura de precisión tiene un impacto positivo considerable en la reducción de la contaminación del agua, gracias a la mejora en la eficiencia del uso de fertilizantes y pesticidas, y en la gestión del riego. Adicionalmente, se observó que su implementación puede disminuir los costos de producción, elevar la calidad de los cultivos y aumentar su rendimiento. Las conclusiones de esta revisión sugieren que la agricultura de precisión es una herramienta eficaz para mitigar la contaminación del agua en la agricultura y para incrementar la productividad. Por ende, este estudio proporciona evidencia científica actual sobre la efectividad de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua, lo cual es valioso para la toma de decisiones en los ámbitos agrícola y ambiental. (Rodríguez, et al. 2019).

Una herramienta importante para reducir la contaminación del agua es la agricultura de precisión. Chen et al. realizó investigaciones en esta área. (2018), el objetivo general era evaluar cómo la agricultura de precisión afectaba los niveles de contaminación del agua en China. Para ello, con la

ayuda de una base de datos bibliográfica, se realizó un análisis exhaustivo de la literatura publicada entre 2013 y 2017. Según los hallazgos, el uso de pesticidas y fertilizantes se redujo significativamente mediante el uso de la agricultura de precisión, lo que ayudó a disminuir la contaminación del agua. Además, se identificaron diferentes tecnologías utilizadas en la agricultura de precisión, como el uso de drones y sensores remotos, que permiten un monitoreo más eficiente y preciso de las condiciones del suelo y los cultivos. En conclusión, la agricultura de precisión se muestra como una herramienta eficaz para reducir la contaminación del agua, mediante la implementación de prácticas más sostenibles y precisas. Este estudio ofrece pruebas científicas significativas para la investigación actual, resaltando la eficacia de la agricultura de precisión en la disminución de la contaminación hídrica.

Se ha constatado que la aplicación de tecnologías de agricultura de precisión puede reducir de manera efectiva la contaminación del agua en los Estados Unidos. La investigación llevada a cabo por Li y colaboradores en 2020 se enfocó en determinar el impacto de la agricultura de precisión en la calidad del agua de la cuenca del río Mississippi. La metodología empleada abarcó la recopilación y análisis de datos provenientes de diversas fuentes, incluyendo encuestas a agricultores y bases de datos de monitoreo de la calidad del agua. Los resultados indicaron que el empleo de tecnologías de agricultura de precisión, tales como el mapeo del suelo y la aplicación variable de fertilizantes, resultó en una notable reducción de la escorrentía de nutrientes y pesticidas. Esto contribuyó significativamente a mejorar la calidad del agua en la cuenca del río Mississippi. La efectividad de la agricultura de precisión para reducir la contaminación del agua en un área significativa de los Estados Unidos se muestra en este estudio que, a su vez, ofrece evidencia científica pertinente para la presente investigación.

El estudio de Kallas et al. (2018) se enfocó en evaluar el impacto del uso de tecnologías de agricultura de precisión en los esfuerzos de la Unión Europea para minimizar la contaminación del agua. El propósito principal era analizar cómo la agricultura de precisión podría mejorar la gestión de nutrientes y



disminuir la contaminación hídrica en distintas zonas de la UE. La metodología incluyó un análisis detallado de literatura científica y la recopilación de datos de múltiples fuentes, incluyendo estudios de caso e informes gubernamentales. Los resultados revelaron que tecnologías como la aplicación variable de fertilizantes y el monitoreo del suelo en la agricultura de precisión pueden disminuir considerablemente la escorrentía de nutrientes y pesticidas, lo que mejora la calidad del agua. El estudio también resaltó la necesidad de políticas y estrategias incentivadoras para promover el uso de estas tecnologías en la agricultura. Al subrayar el potencial de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua en varias regiones de la Unión Europea, este estudio aporta evidencia científica relevante para la investigación actual.

Por otro lado, la investigación realizada por Wang et al. (2020) examinó cómo la agricultura de precisión influía en la productividad y rentabilidad de los cultivos, así como en la disminución de la contaminación del agua en la región del Taihu en China. El objetivo fue investigar el impacto económico y ambiental de la agricultura de precisión en la producción de arroz y en la reducción de la escorrentía de nutrientes y pesticidas en la cuenca del lago Taihu. Utilizando una metodología que comprendía la recopilación y análisis de datos de diversas fuentes, como encuestas a agricultores y mediciones de la calidad del agua, los resultados indicaron que la implementación de tecnologías de agricultura de precisión, tales como la dosificación variable de fertilizantes y la siembra precisa, mejoraron notablemente la productividad y rentabilidad de los cultivos. Además, contribuyeron a una reducción de la escorrentía de nutrientes y pesticidas en un 23% y 42%, respectivamente. En consecuencia, se obtuvieron beneficios económicos y ambientales, lo que destaca el potencial de la agricultura de precisión como una solución sostenible para la producción agrícola.

El análisis de Landa-Cancino et al. (2018) se centró en el impacto de la agricultura de precisión en el Valle de Jequetepeque, Perú, especialmente en la gestión de la fertilidad del suelo y la reducción de la contaminación

hídrica. Los principales objetivos del estudio fueron evaluar la efectividad de la agricultura de precisión en la gestión del suelo y su influencia en la disminución de la contaminación del agua debido al uso excesivo de fertilizantes. La metodología aplicada incluyó la recopilación de datos de diversas fuentes, tales como encuestas a agricultores y análisis químicos del suelo y agua. Los resultados indicaron que la implementación de tecnologías de agricultura de precisión, como la dosificación variable de fertilizantes y el manejo de la variabilidad espacial del suelo, condujo a una mejor gestión del suelo y una notable reducción en la aplicación excesiva de fertilizantes. Esto resultó en menores niveles de nitrógeno y fósforo en los cuerpos de agua, contribuyendo así a la reducción de la contaminación hídrica.

Por otro lado, el estudio de Sánchez-Rodríguez et al. (2019) exploró el efecto de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua en México. El propósito principal fue analizar cómo la implementación de tecnologías de agricultura de precisión influye en la disminución de la contaminación del agua causada por la aplicación excesiva de pesticidas y fertilizantes. La investigación incluyó encuestas a agricultores y análisis de muestras de agua de campos que utilizaban tecnologías de agricultura de precisión frente a aquellos que no lo hacían. Los hallazgos sugieren que la adopción de tecnologías de agricultura de precisión, como el mapeo de variabilidad espacial del suelo y la aplicación variable de pesticidas y fertilizantes, reduce de manera significativa la contaminación del agua en los campos agrícolas. Además, se observó una reducción en los costos de insumos agrícolas, un aumento en la eficiencia del uso de recursos y una mejora en la productividad agrícola. Este estudio aporta a la tesis al demostrar que la adopción de tecnologías de agricultura de precisión puede ser una estrategia efectiva para reducir la contaminación del agua y mejorar la eficiencia en el uso de insumos agrícolas en México.

La investigación realizada por Mora et al. (2020) se centró en los beneficios medioambientales de la agricultura de precisión en Costa Rica. El propósito principal de este estudio fue evaluar cómo la implementación de tecnologías

de agricultura de precisión afecta la reducción de la huella ambiental en la producción agrícola. La metodología empleada consistió en analizar el uso de estas tecnologías en granjas costarricenses y compararlas con aquellas que no las utilizan. Los resultados mostraron que la adopción de tecnologías de agricultura de precisión disminuye el uso de insumos agrícolas como pesticidas y fertilizantes, lo que conduce a una reducción en la huella ambiental asociada con la producción agrícola. Además, se encontró que la adopción de estas tecnologías mejora la eficiencia en el uso de recursos y aumenta la productividad agrícola. Este estudio contribuye significativamente a la tesis, demostrando que la implementación de tecnologías de agricultura de precisión no solo beneficia a los agricultores en términos de eficiencia y productividad, sino que también tiene un impacto ambiental positivo al disminuir la huella ecológica de la producción agrícola.

Los recursos hídricos son necesarios para la productividad humana, la vida cotidiana y la preservación del entorno natural (Yuan et al., 2020). Pero, el aumento de la urbanización repercute en la calidad del agua porque los contaminantes del medio urbano se vierten en el agua y la contaminan, y porque hay más competencia por el agua entre las ciudades, las empresas, la agricultura, etc. (Priyadarshini et al., 2022).

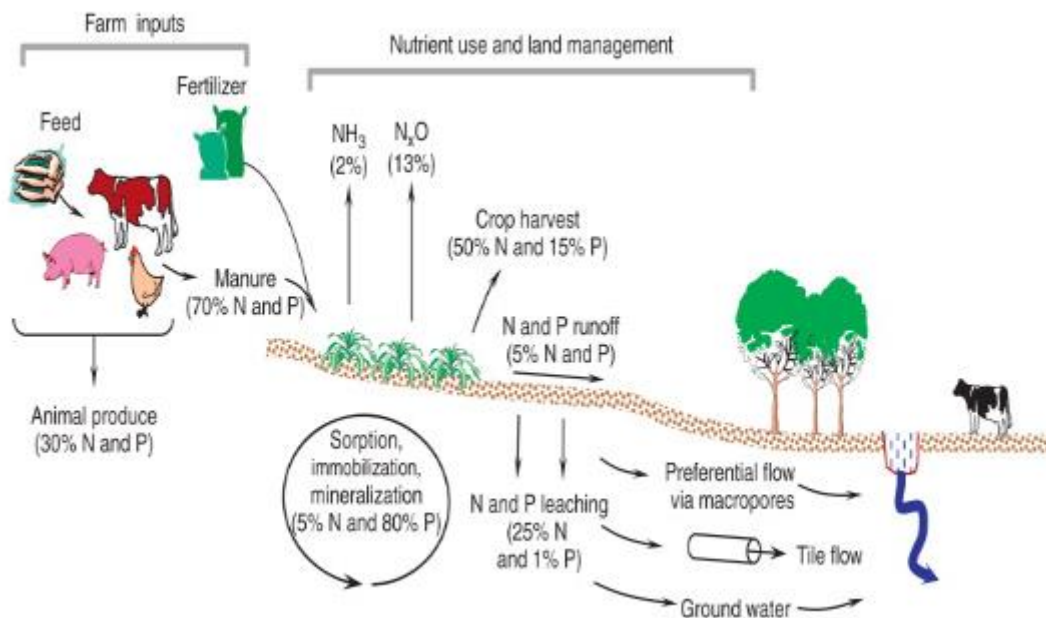
La gestión del agua se ve seriamente amenazada por el creciente aumento de la urbanización, la población y la industria y cada día se vierten nuevos contaminantes al agua, lo que dificulta el funcionamiento de los sistemas de reutilización (Singh et al., 2022).

La contaminación del agua se ha convertido en uno de los desafíos medioambientales más graves a nivel mundial, con la agricultura identificada como una de las principales fuentes de esta contaminación. Esto se debe principalmente a la lixiviación de fertilizantes y pesticidas en los cuerpos de agua, como señala Sharpley en 2013. Además, según Kong et al. (2022), la agricultura no solo es una causa principal de la contaminación hídrica, sino que también representa alrededor del 70% del desarrollo y utilización de los

recursos hídricos. Entre los principales contaminantes que ingresan al agua por la agricultura se encuentran el N y P. (Ver figura 1). Siendo que, Aporta el 38% del GWF relacionado con el fósforo y el 75% del GWF relacionado con el nitrógeno a escala mundial (Mekonnen y Hoekstra, 2018).

La contaminación del agua se ha transformado en un asunto crítico a nivel global, con la agricultura emergiendo como uno de los contribuyentes principales a este problema. Los fertilizantes y pesticidas empleados en actividades agrícolas tienen el potencial de contaminar ríos, lagos y acuíferos. Esta contaminación puede impactar negativamente en la calidad del agua potable y, en consecuencia, en la salud humana, como se indica en el estudio de Khan et al. (2019).

**Figura 1. Factores que afectan el destino del N y P en la agricultura**



Fuente: Sharpley, (2013)

La aplicación ineficaz de fertilizantes contribuye en gran medida a la contaminación por nitrógeno y fósforo en la agricultura; aproximadamente el 20% del fósforo y el 35% del nitrógeno aplicados son absorbidos por los cultivos (Turan et al., 2019).

El uso excesivo de productos agroquímicos en la agricultura ha contribuido significativamente a la contaminación ambiental en las últimas décadas, afectando diversos aspectos del medio ambiente como las aguas superficiales y subterráneas. Esta práctica agrícola no solo impacta negativamente en los cuerpos de agua, sino que también plantea serias preocupaciones sobre la salud del ecosistema en su conjunto. (Shoaib et al., 2023).

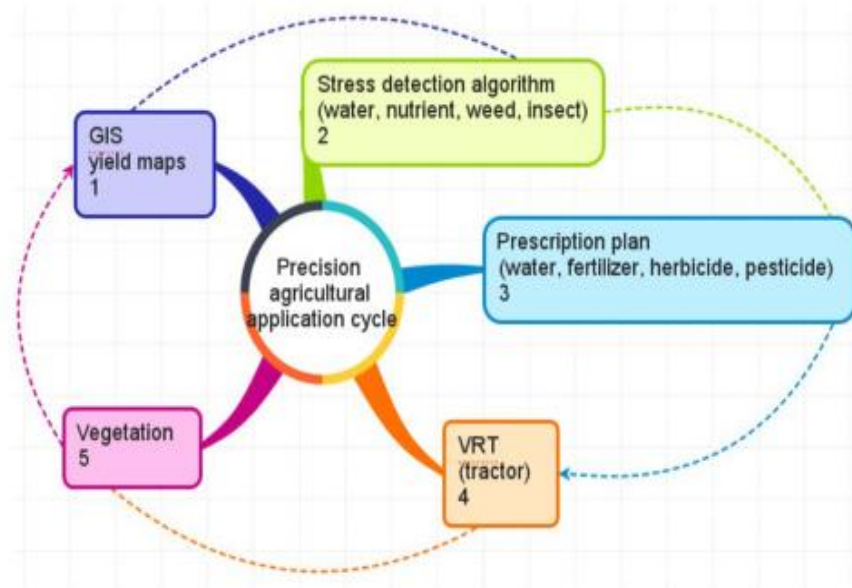
Entre las diversas prácticas en la agricultura en la que se puede contaminar el agua agrícola se encuentran las aplicaciones de estiércol, biosólidos humanos, el uso de pesticidas y los tipos de manejo de la tierra (Shahaby, 2022).

Considerando que, el aumento general de la contaminación del agua supone un riesgo tanto para la vida acuática como para la salud humana (Elzain et al., 2022).

No obstante, la agricultura de precisión (AP) ofrece una vía prometedora para mitigar la contaminación del agua. Esto se logra a través de la aplicación exacta y medida de fertilizantes y pesticidas, así como mediante la adopción de técnicas de gestión del agua más eficientes y efectivas. (Wang et al., 2020).

La ciencia que combina sensores de última generación y herramientas de análisis para aumentar el rendimiento agrícola y apoyar las decisiones de gestión se conoce como agricultura de precisión (AP). (ver figura 2).

**Figura 2. Ciclo de agricultura de precisión**



Fuente: Singh et al., (2020)

La agricultura de precisión (AP) representa un enfoque innovador que se ha adoptado ampliamente para incrementar la producción, minimizar los costes de mano de obra y asegurar una gestión eficiente de los fertilizantes y sistemas de riego. Este enfoque se basa en el uso de una gran cantidad de datos e información para mejorar el rendimiento de los cultivos, su calidad y la eficiencia en el uso de recursos agrícolas.

El monitoreo de la salud de los cultivos a través de la observación y medición de aspectos como la calidad del suelo, la salud de las plantas, el impacto de los fertilizantes y pesticidas, el riego y el rendimiento de los cultivos, es fundamental en la producción agrícola moderna, como lo indica Nigam et al. (2019).

Torres y Armas (2020) sugieren que la agricultura de precisión puede ser una herramienta clave para reducir la contaminación del agua, gracias a su capacidad para permitir una aplicación más precisa y controlada de productos químicos.

Es también considerada como técnica de cultivo que utiliza tecnologías avanzadas, como sensores, GPS, drones y robots, para mejorar la eficiencia y la productividad agrícola (Perez-Ruiz et al., 2019). La gestión de los recursos naturales, especialmente en lo que respecta a la reducción de la contaminación del agua, se está convirtiendo en un aspecto cada vez más crucial (Zhou et al., 2020).

El monitoreo y análisis de las condiciones del suelo y las plantas es una parte fundamental de la agricultura de precisión y la tecnología de teledetección, que utiliza sensores remotos para recopilar datos sobre el suelo y las plantas, es una de las herramientas más importantes de la agricultura de precisión (Castellanos et al., 2021).

El empleo de drones es una de las tecnologías emergentes en la agricultura de precisión, ofreciendo ventajas significativas para el monitoreo del crecimiento de las plantas, la salud del suelo y la aplicación de productos químicos. Según Pérez y Bernal (2019), el uso de drones en la agricultura de precisión puede ser una herramienta eficaz para reducir el uso de productos químicos, lo que a su vez contribuye a la disminución de la contaminación del agua.

En este contexto, el estudio de Zhang et al. (2021) evaluó el impacto de la agricultura de precisión en la calidad del agua. Los resultados de esta investigación indicaron que la implementación de tecnologías de precisión en la agricultura tiene un efecto positivo significativo en la reducción de la contaminación del agua.

Además, reduce el uso de pesticidas y fertilizantes, lo que a su vez puede disminuir la contaminación del agua (Khan et al., 2019). Así como la implementación de técnicas de gestión del agua más eficientes (Wang et al., 2020).

Por otro lado, la tecnología de precisión también juega un papel crucial en la reducción de la contaminación del agua al mejorar la calidad del suelo. Chen et al. (2020) descubrieron que la aplicación de tecnologías de precisión en la agricultura puede favorecer significativamente la calidad del suelo y disminuir la lixiviación de nutrientes hacia las fuentes de agua.

La agricultura de precisión es una técnica que permite aplicar fertilizantes y pesticidas de manera precisa y controlada, basándose en el monitoreo y análisis de las condiciones del suelo y las plantas. Según Hernández y Oviedo (2018), la agricultura de precisión es una forma de agricultura inteligente que utiliza tecnología avanzada para maximizar la eficiencia y reducir el impacto ambiental.

Así, en investigaciones como la realizada por Li et al. (2021), se ha evaluado el impacto de la agricultura de precisión en la calidad del agua subterránea. Los resultados de este estudio indican que la implementación de tecnologías de precisión en la agricultura puede mejorar de manera significativa la calidad del agua subterránea.

Además, la agricultura de precisión puede reducir contaminantes como el nitrógeno (Yang et al., 2019). También puede reduciendo la contaminación por fósforo significativamente (Qiao et al, 2021).

En resumen, la agricultura de precisión tiene un papel significativo en la disminución de la contaminación del agua. Esto se logra a través de la aplicación exacta y controlada de fertilizantes y pesticidas, la adopción de métodos de gestión del agua más eficientes y la mejora en la calidad del suelo. Los estudios analizados demuestran que la tecnología de precisión puede reducir considerablemente la contaminación por nitrógeno y fósforo, aumentar la eficiencia en el uso de los recursos y contribuir a la mejora de la calidad del agua subterránea.



### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

Para encontrar soluciones a los problemas, la investigación se aplica de acuerdo con su tipo.

En el marco de este proyecto, se realiza una investigación de tipo aplicada. Esto se debe a que se centra en el desarrollo de enfoques y soluciones prácticas para abordar un problema real y concreto, en este caso, la reducción de la contaminación del agua. La investigación aplicada se caracteriza por su orientación hacia la resolución de problemáticas sociales y prácticas que afectan a una población específica (Cordero, 2009). En este contexto, el proyecto se alinea con este enfoque al buscar soluciones concretas para la problemática ambiental de la contaminación del agua.

En resumen, esta investigación tiene un enfoque práctico con el propósito de aplicar los resultados de la revisión sistemática para mejorar la implementación de la agricultura de precisión y reducir la contaminación del agua. Además, se caracteriza por tener un enfoque cualitativo, ya que se centra en la recopilación y síntesis de evidencia cualitativa, que se basa en información no numérica, como descripciones, narraciones y opiniones de expertos en los campos de la agricultura de precisión y la contaminación del agua. Además, el enfoque cualitativo se basa en la interpretación y comprensión del fenómeno estudiado, en lugar de su cuantificación.

##### **3.1.2. Diseño de Investigación**

La revisión sistemática representa una indagación científica que se fundamenta en la recopilación y la síntesis de pruebas relacionadas con un

tema específico, abarcando numerosos documentos científicos, procedentes de una fuente de información confiable.

Este proceso es transparente y claro, y su objetivo es seleccionar, evaluar y resumir de manera precisa y objetiva la muestra completa de información disponible, para determinar la validez de un tratamiento, diagnóstico o pronóstico en particular.

Las revisiones sistemáticas son capaces de abordar preguntas específicas relacionadas con tratamiento, diagnóstico o pronóstico, donde la discrepancia puede provenir de las investigaciones primarias que se incluyen y evalúan (Moreno et al., 2018); se considera una revisión sistemática porque se basa en la recopilación y síntesis de evidencias de diferentes estudios que abordan el tema de la agricultura de precisión y su relación con la reducción de la contaminación del agua.

Adicionalmente, su enfoque se caracteriza por ser completo y meticuloso, dado que sigue un procedimiento minucioso y claro para identificar, elegir y valorar los estudios que forman parte de la revisión.

### **3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización**

A través de la revisión bibliográfica de distintos artículos y proyectos de investigación, se ha construido una matriz que incluye el tema de estudio y varios aspectos importantes, como los objetivos específicos, problemas específicos, categorías y subcategorías. Con la finalidad de exponer la información de forma nítida y exacta en pos de los propósitos de la investigación, se ha organizado los datos recabados en el Anexo 1.

### **3.3. Escenario de estudio**

Este estudio se encuentra dentro del ámbito de una revisión sistemática, lo que implica que no se llevaron a cabo experimentos en un entorno físico

concreto. En cambio, se hizo uso de información obtenida de artículos científicos que documentaron investigaciones acerca de los impactos de la agricultura de precisión en la disminución de la contaminación del agua. Estos estudios se desarrollaron en entornos de laboratorio y en el campo, y fueron extraídos de fuentes indexadas a nivel internacional.

### **3.4. Participantes**

En este estudio, los participantes se refieren a las fuentes de las cuales se obtuvieron los artículos y revistas científicas. Estas fuentes comprenden sitios web como páginas institucionales, bibliotecas virtuales y bases de datos bibliográficas electrónicas que ofrecen una amplia gama de bases de datos de búsqueda científica para acceder a artículos científicos.

En particular, este estudio utilizó tres bases de datos: Sciencedirect, Scielo y Scopus.

### **3.5. Técnica e instrumento de recolección de datos**

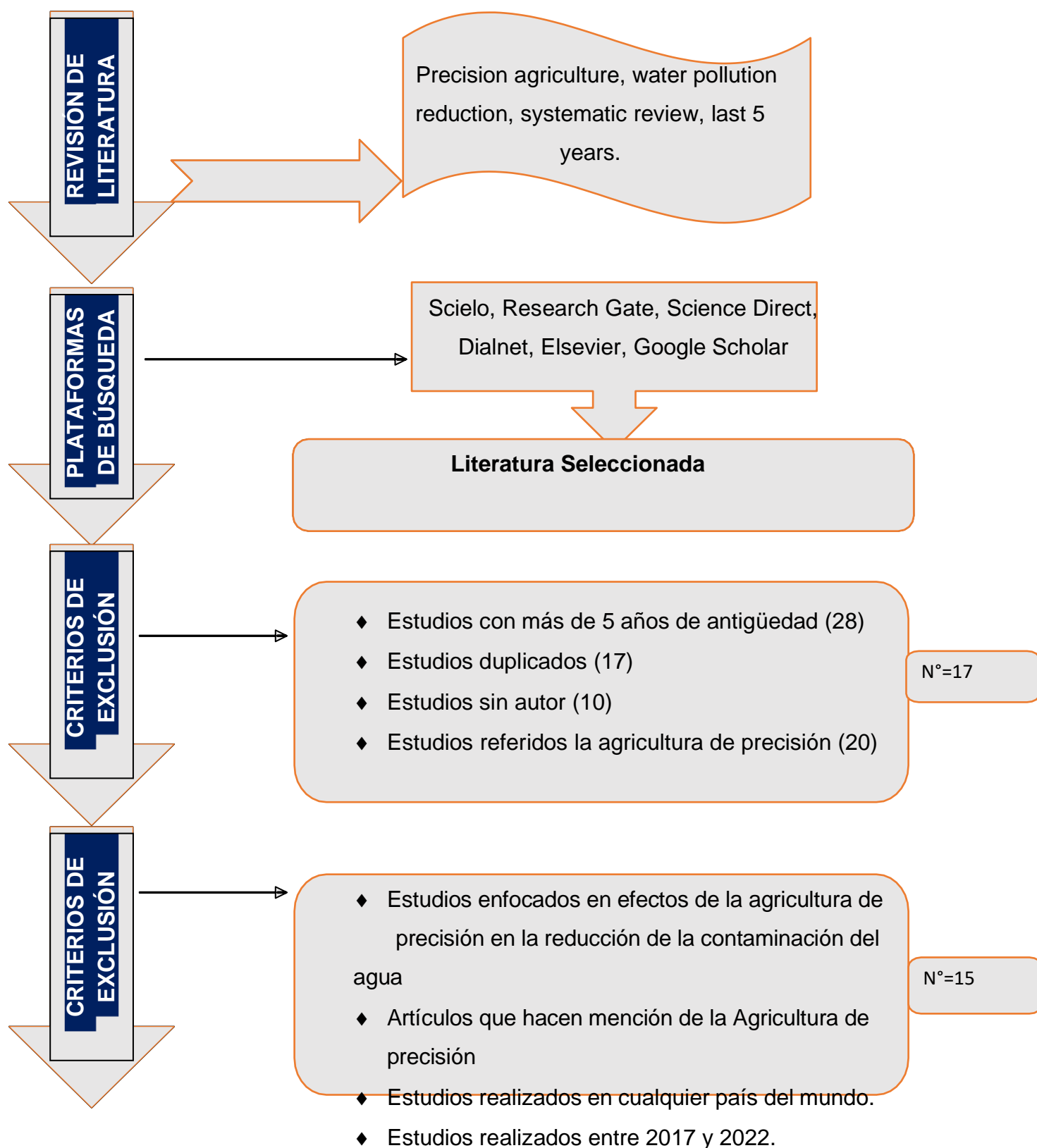
En esta investigación, se empleó la técnica del análisis documental para abordar el problema general planteado. Esta técnica se centra en la recopilación y síntesis de información científica y resulta útil para explorar, analizar y resumir la información existente, lo que permitió identificar patrones y tendencias en la investigación en el área de estudio.

La recolección de datos se llevó a cabo mediante fichas de registros bibliográficos, en las cuales se registraron datos relevantes de las revisiones incluidas en el estudio, como autores, año de publicación, objetivos, metodología, resultados y conclusiones. Además, se dio prioridad a fuentes de información confiables y pertinentes, como revistas científicas y bases de datos electrónicas indexadas, como Scopus y Sciencedirect, para garantizar la calidad y validez de los datos recopilados.

### **3.6. Procedimiento**

El procedimiento del estudio experimental constará de 4 etapas, la revisión de literatura, plataforma de búsqueda, criterios de exclusión y criterios de inclusión; siendo detallados en la figura 3.

**Figura 3. Criterios de inclusión y exclusión**



### **3.7. Rigor científico**

La aplicación de los criterios mencionados anteriormente se ha centrado en asegurar la validez y la confiabilidad de la investigación. Para lograrlo, se ha realizado una revisión minuciosa y exhaustiva de la literatura existente sobre el tema de estudio, seleccionando únicamente aquellas fuentes consideradas confiables y pertinentes.

La construcción teórica desempeña un papel esencial en la comprensión del fenómeno de la agricultura de precisión y su impacto en la reducción de la contaminación del agua. La coherencia en las interpretaciones es esencial para garantizar la confiabilidad y validez de la revisión sistemática.

Además, la consistencia lógica es fundamental para asegurar que los hallazgos y conclusiones de la revisión sean precisos y estén en línea con los datos y la literatura revisada.

En tercer lugar, la credibilidad es importante para asegurar que los resultados de la revisión sean confiables y creíbles para los lectores y la comunidad científica.

En cuarto lugar, la auditabilidad o confirmabilidad es necesaria para garantizar que el proceso de revisión sistemática sea transparente y verificable por otros investigadores.

Por último, la transferibilidad o aplicabilidad es relevante para garantizar que los resultados de la revisión sean aplicables en diferentes contextos y para diferentes audiencias. En síntesis, la aplicación rigurosa de principios científicos es fundamental para asegurar la calidad y confiabilidad de la revisión sistemática sobre los efectos de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua.

### **3.8. Aspectos éticos**

Durante la elaboración de este trabajo, se ha seguido un enfoque riguroso y ético en la identificación y citación de los autores cuyas investigaciones y estudios han sido utilizados como referencias.

Con el fin de cumplir con los principios fundamentales de la ética científica, se ha respetado íntegramente la guía de productos observables y la Norma ISO 690-II, asegurando una adecuada atribución de las fuentes de información y evitando cualquier forma de plagio.

De esta manera, se garantiza la integridad y calidad del trabajo, así como el respeto y reconocimiento a los autores y sus aportes en el campo de estudio.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicialmente, se llevó a cabo la identificación de estudios de investigación relacionados con la agricultura de precisión en los últimos 5 años. Este proceso se realizó detallando el método utilizado en el estudio, los resultados de mejora después de la implementación y la rentabilidad agrícola. Los detalles de esta identificación se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Estudios de investigación sobre la agricultura de precisión en los últimos 5 años**

Estudios de investigación sobre la tecnología de agricultura de precisión (PAT)	Método utilizado	Mejora del uso de recursos y la rentabilidad agrícola	Fuente
Este artículo tiene como objetivo examinar la situación actual y el potencial de las técnicas de agricultura de precisión en el campo de la protección fitosanitaria de los cultivos.	El uso de sensores en el control de plagas involucra técnicas de teledetección, mapeado y manejo de la variabilidad para monitorear y gestionar la presencia de plagas en los cultivos de manera precisa.	-	De Martín, 2019
Este estudio define áreas de gestión con características uniformes (AGCU) dentro de un	Información geográfica (SIG)	Mejoró los rendimientos de maíz, las relaciones entre la CEa y los contenidos de arcilla y limo en	Rodríguez et al. 2017



Estudios de investigación sobre la tecnología de agricultura de precisión (PAT)	Método utilizado	Mejora del uso de recursos y la rentabilidad agrícola	Fuente
terreno de cultivo, identificando las similitudes en distintos sectores del lote de cultivo.		Facatativá y Bojacá, respectivamente.	
Dispositivo de detección de GNR funcionalizado con aptámero codificado de posición.	Nanosensores (NS)	Detección de metales pesados (Pb <sup>2+</sup> ; Hg <sup>2+</sup> )	Ye et al., 2022
Se emplearon nanopartículas para alterar el electrodo de carbón vítreo (GCE), lo que resultó en la creación de un nuevo sensor utilizado para la detección simultánea de iones Pb(II) y Cd(II) en muestras de agua a través de la técnica de voltamperometría de barrido anódico lineal (LSASV).	Nanosensores (NS)	Detección de Pb <sup>2+</sup>	Antunovic et al., 2019
Se prepararon aerogeles de grafeno tridimensionales mediante la introducción de pirrol para regular su estructura y propiedades y se utilizaron como materiales de electrodos para investigar el papel especial del pirrol para detectar iones metálicos.	Nanosensores (NS)	Detección de Cd	Guo et al., 2020
Este documento ofrecía una evaluación exhaustiva de investigaciones anteriores y describía las	Información geográfica (SIG)	Los autores examinaron nueve modelos de contaminación por NPS	Fu et al., 2019

Estudios de investigación sobre la tecnología de agricultura de precisión (PAT)	Método utilizado	Mejora del uso de recursos y la rentabilidad agrícola	Fuente
<p>alternativas de modelización de la contaminación por NPS en China, haciendo hincapié en las zonas de transición urbano-rurales. Este estudio identificó importantes obstáculos relacionados con la modelización y sugirió nuevas perspectivas de crecimiento.</p>		<p>ampliamente utilizados, así como algunos modelos de reciente creación en China. Los investigadores descubrieron que es posible que los modelos empíricos no tengan en cuenta la heterogeneidad espaciotemporal de la contaminación por NPS y que no produzcan resultados adecuados cuando se aplican a grandes cuencas o regiones.</p>	
<p>Desarrollaron un nanosensor triboeléctrico autoalimentado (TENS) para realizar la detección de iones de metales pesados.</p>	<p>Nanosensores (NS)</p>	<p>Detección de metales pesados en el agua <math>Cu^{2+}</math> ; <math>Cr^{3+}</math> ; <math>Zn^{2+}</math></p>	<p>Wang et al., 2022</p>
<p>Se realizó la construcción de un nanosensor colorimétrico para <math>Hg(II)</math>, basado en nanopartículas mesoporosas de sílice (MSN) mecanizadas.</p>	<p>Nanosensores (NS)</p>	<p>Detección de metales pesados (<math>Hg</math>)</p>	<p>Jimenez-Falcao et al., 2020</p>

<b>Estudios de investigación sobre la tecnología de agricultura de precisión (PAT)</b>	<b>Método utilizado</b>	<b>Mejora del uso de recursos y la rentabilidad agrícola</b>	<b>Fuente</b>
Se diseñó un sensor electroquímico basado en el electrodo de carbono vítreo modificado con estructura metal-orgánica (MOF) , que puede detectar trazas de iones de cadmio ( $Cd^{2+}$ ) y plomo ( $Pb^{2+}$ ) con alta sensibilidad.	Nanosensores (NS)	Detección de Cd (II) en el agua	Ye et al., 2020
Esta revisión ofrecía un marco para esbozar modelos y repasar una serie de modelos de uso frecuente. Esta evaluación también indicaba futuros temas de investigación prospectiva y analizaba las dificultades que plantean la estructura y las aplicaciones de los modelos.	Información geográfica (SIG)	En este estudio se compararon 15 modelos haciendo hincapié en las escalas espaciales y sus usos. Los autores sugieren que para el desarrollo futuro de modelos, se pueden considerar diversas posibilidades como la estructura fuente-flujo-sumidero, la normalización de los parámetros y la implementación de sistemas de apoyo a la toma de decisiones. También se enfocan en analizar las dificultades que puedan surgir en este proceso.	Yuan et al., 2020

<b>Estudios de investigación sobre la tecnología de agricultura de precisión (PAT)</b>	<b>Método utilizado</b>	<b>Mejora del uso de recursos y la rentabilidad agrícola</b>	<b>Fuente</b>
<p>El estudio incluía un análisis exhaustivo de los modelos basados en procesos aplicados a la cuenca del lago Erie y evaluaba sus méritos y deficiencias técnicas. Los autores se refirieron a las dificultades que plantea la aplicación de estos modelos a la puesta en práctica de la gestión y la proyección de la disminución de la carga de nutrientes.</p>	<p>Información geográfica (SIG)</p>	<p>Este estudio resaltó la importancia de considerar factores como el fósforo heredado, eventos climáticos extremos y la dinámica de los ciclos del agua y los nutrientes. También destacó la necesidad de utilizar modelos integrados que aborden la incertidumbre asociada con la selección de modelos.</p>	<p>Tan et al., 2020</p>
<p>Examinó el uso del SWAT y su aplicabilidad para evaluar los extremos hidroclimáticos, incluidas las inundaciones y las sequías.</p>	<p>Información geográfica (SIG)</p>	<p>El estudio subrayaba la importancia de tener en cuenta el cambio climático a la hora de adoptar políticas de conservación en las cuencas hidrográficas y ofrecía un esbozo de las capacidades de SWAT y sus futuras áreas de investigación.</p>	<p>Neumann et al., 2021</p>

<b>Estudios de investigación sobre la tecnología de agricultura de precisión (PAT)</b>	<b>Método utilizado</b>	<b>Mejora del uso de recursos y la rentabilidad agrícola</b>	<b>Fuente</b>
Este artículo analiza en detalle los aspectos fundamentales que deben considerarse al seleccionar modelos, incluyendo consideraciones geográficas y temporales, procesos de calibración y validación, evaluación de la incertidumbre y la identificación de posibles áreas de investigación futura en el campo de los modelos de contaminación de fuentes no puntuales (NPS).	Información geográfica (SIG)	Para ayudar a los gestores y planificadores de cuencas hidrográficas a elegir el modelo más adecuado, este estudio examinó 14 modelos de contaminación por NPS a escala de cuenca hidrográfica.	Wang et al., 2022
Destacó las cualidades a la hora de elegir entre los modelos actuales de calidad del agua teniendo en cuenta los tres ejes principales de uso del modelo, desarrollo del modelo y rendimiento del modelo. Este documento también examina cuestiones relevantes y debates actuales en la modelización de la calidad del agua a nivel de cuenca hidrográfica.	Información geográfica (SIG)	Los autores resaltaron la importancia de contar con modelos que abarquen una variedad de niveles de complejidad y escalas para abordar los desafíos asociados a la gestión de la calidad del agua. El artículo dejaba claro que a la hora de predecir el destino de los componentes de una cuenca deben tenerse en cuenta tres procesos clave: la creación de	Xue et al., 2022

Estudios de investigación sobre la tecnología de agricultura de precisión (PAT)	Método utilizado	Mejora del uso de recursos y la rentabilidad agrícola	Fuente
		componentes, la filtración desde las fuentes y el transporte a través de los cursos de agua.	
Se estableció un nuevo método de detección electroquímica ratiométrica para la detección simultánea de tres principales contaminantes de iones de metales pesados (Cd 2+ , Pb 2+ y Cu 2+).	Nanosensores (NS)	Detección de Cd (II) y Pb (II) en el agua	Wang et al., 2020

Según los estudios examinados, se puede notar que las investigaciones recientes sobre agricultura de precisión (AP) en los últimos 5 años emplean como métodos los nanosensores (NS) y la información geográfica (SIG).

Así mismo, la agricultura de precisión basado en nanotecnología es uno de los más utilizados en la agricultura. Así también lo respalda Guo et al., 2020, afirmando que los nanosensores se pueden aplicar con éxito para determinar metales pesados en soluciones acuosa, proporcionando nuevas directrices para diseñar materiales de electrodos para la detección de iones de metales pesados.

La agricultura de precisión (AP) tiene el potencial de reducir la contaminación del agua al permitir una aplicación precisa de fertilizantes y pesticidas, así como la implementación de técnicas de gestión del agua más eficientes (Wang et al., 2020).

Ello debido a que, en estudios realizado como en el de Zhang et al. (2021), se evaluó el impacto de la AP en la calidad del agua y se encontró que la aplicación de tecnologías de precisión reduce significativamente la contaminación del agua. Además, el estudio realizado por Li et al. (2021) también concluyó que la agricultura de precisión (AP) puede tener un impacto significativo en la mejora de la calidad del agua subterránea.

Además, el estudio llevado a cabo por Yang et al. (2019) también aplicó la agricultura de precisión (AP) y evaluó su impacto en la reducción de la contaminación por nitrógeno. Los resultados indicaron que la tecnología de precisión puede reducir significativamente la contaminación por nitrógeno.

Ello debido a que, la agricultura de precisión puede ser útil para reducir la erosión del suelo, otro problema ambiental importante; según Gómez et al. (2020), la agricultura de precisión puede mejorar la salud del suelo al posibilitar una aplicación más precisa de productos químicos y una gestión

más eficiente de la irrigación, lo que a su vez puede disminuir la erosión del suelo y la contaminación del agua.

Estudios como el de Yu et al. (2021) también analizaron el efecto de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación por pesticidas y concluyeron que esta tecnología puede reducir de manera significativa la contaminación por pesticidas.

Además, se evaluó la eficacia de las tecnologías de agricultura de precisión en relación con la reducción de la contaminación del agua, como se detalla en la tabla 2.

**Tabla 2. Eficacia de las tecnologías de agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua**

<b>Método utilizado</b>	<b>Eficacia en la reducción de la contaminación del agua</b>	<b>Fuente</b>
Utilización de sensores en la gestión de plagas (empleo de sensores remotos, cartografía y gestión de la variabilidad)	La eficacia se refleja en los resultados exitosos que posibilitaron la adaptación de la cantidad de producto fitosanitario.	De Martín, 2019
Información geográfica (SIG)	Los resultados revelaron variaciones estadísticas sustanciales en los rendimientos de maíz; sobresaliendo la eficacia del sensor en la definición de ZM para aplicaciones de EME.	Rodríguez et al. 2017
Nanosensores (NS)	Permitió la disminución eficiente de iones metálicos mediante su detección.	Ye et al., 2022



Método utilizado	Eficacia en la reducción de la contaminación del agua	Fuente
Nanosensores (NS)	Presentó alta eficiencia para la detección de $Pb^{2+}$ y su reducción en el agua.	Antunovic et al., 2019
Nanosensores (NS)	La técnica de nanosensores se utilizó con éxito logrando detectar eficientemente las concentraciones de Cd (II) en el agua.	Guo et al., 2020
Información geográfica (SIG)	Presenta una eficiencia alta en la mayoría de los casos.	Fu et al., 2019
Nanosensores (NS)	Utilizando un enfoque sencillo de filtración bajo vacío con la integración de nanosensores, se logra detectar con gran eficacia $Cu^{2+}$ , $Cr^{3+}$ y $Zn^{2+}$ . Esta técnica destaca por su capacidad para identificar estas sustancias incluso a niveles tan mínimos como $1 \mu M$ , y lo hace sin requerir el uso de moléculas de ligando.	Wang et al., 2022
Nanosensores (NS)	Presentó una alta eficiencia en su aplicación, siendo capaz de detectar Hg(II) en el rango de concentraciones de 154 pM a 31 nM, con una sensibilidad de 29,9 au/ $\mu M$ y un límite de detección tan bajo como 60 pM.	Jimenez-Falcao et al., 2020
Nanosensores (NS)	La eficacia de su aplicación fue alta, al lograr detectar $Cd^{2+}$ y	Ye et al., 2020

Método utilizado	Eficacia en la reducción de la contaminación del agua	Fuente
	Pb <sup>2+</sup> pero fue aún más la sensibilidad del sensor hacia Pb <sup>2+</sup> , donde se calculó con un límite de detección de 0,228 ppb.	
Información geográfica (SIG)	Presenta una eficiencia alta en todos los casos	Yuan et al., 2020
Información geográfica (SIG)	Presenta una eficiencia mayor al 60% en todos los casos	Tan et al., 2020
Información geográfica (SIG)	-	Neumann et al., 2021
Información geográfica (SIG)	-	Wang et al., 2022
Información geográfica (SIG)	Mejora la gestión para el control de la contaminación de fuentes difusas (NPSP) proporcionando información cuantitativa	Xue et al., 2022
Nanosensores (NS)	Se presentó alta eficiencia para la detección simultánea, sensible y confiable de Cd <sup>2+</sup> , Pb <sup>2+</sup> y Cu <sup>2+</sup> logrando conseguir su reducción en el agua.	Wang et al., 2020

Las tecnologías utilizadas en la agricultura de precisión se han demostrado eficaces en la disminución de la contaminación acuática en diversos casos. Esto se debe a su capacidad para reducir de manera efectiva los contaminantes. Este hecho ha sido respaldado por los hallazgos de 15 autores citados en la tabla 2 de varios estudios (Guo et al., 2020; Wang et al., 2022; Jimenez-Falcao et al., 2020; Yuan et al., 2020; Xue et al., 2022; Wang et al., 2020).

Un estudio específico de Wang et al. (2020) analizó el impacto de la agricultura de precisión en el uso eficiente del agua, concluyendo que esta tecnología mejora significativamente la eficiencia del agua y reduce su contaminación. De manera similar, una investigación de Chen et al. (2020) mostró que la agricultura de precisión mejora la calidad del suelo y disminuye la lixiviación de nutrientes en el agua.

Khan et al. (2019) en su revisión sistemática, descubrieron que la agricultura de precisión puede reducir el uso de pesticidas y fertilizantes, lo que a su vez disminuye la contaminación del agua. Además, se observó una mejora en la eficiencia del uso del agua y una reducción en la lixiviación de nutrientes en aguas subterráneas.

Por otro lado, Zhou et al. (2020) en su revisión sistemática, evaluaron cómo la agricultura de precisión afecta la reducción de la contaminación del agua, encontrando una disminución significativa gracias a esta tecnología.

Finalmente, un estudio de Guo et al. (2020) concluyó que la agricultura de precisión no solo mejora la eficiencia en el uso de recursos, sino que también contribuye a una notable reducción de la contaminación del agua.

Según Castellanos et al. (2021), la tecnología de teledetección puede mejorar la eficiencia de la agricultura de precisión y reducir la contaminación del agua al permitir una aplicación más precisa de los productos químicos.

Finalmente, a través del análisis presentado en la tabla 3, se examinaron las diversas limitaciones y desafíos asociados con la implementación de la agricultura de precisión, específicamente en su capacidad para disminuir la contaminación del agua.

**Tabla 3. Desafíos, limitaciones y estrategias para la adopción de la agricultura de precisión en la mitigación de la contaminación hídrica.**

N°	Limitaciones y desafíos	Soluciones
1	Falta de capturar diversos procesos NPSP en áreas de transición urbano-rural con un contexto geográfico y características de urbanización únicos.	Incluir procesos y mecanismos hidrológicos exclusivos en la migración de contaminantes desde áreas de transición urbanas-rurales.
2	La incertidumbre persiste y es necesario mejorar la precisión de la simulación.	Los parámetros deben derivarse de diversos métodos y validarse para hacer frente a las características de las zonas de transición urbana-rural.
3	El número y tipo de contaminantes simulados son limitados.	Los aportes de otras sustancias a las masas de agua, además de los sedimentos y nutrientes tradicionales, deberían ser motivo de la misma preocupación.
4	Falta de proyectos de seguimiento y datos para respaldar el desarrollo y las validaciones de modelos NPSP para regiones recientemente desarrolladas.	Es necesario realizar proyectos de monitoreo y mediciones locales para obtener un conjunto de datos de contaminantes consistentes para el modelado del NPSP.

La implementación de la agricultura de precisión para disminuir la contaminación del agua presenta ciertos desafíos y limitaciones. Aunque las técnicas actuales son efectivas, se ha encontrado que el uso de Nanosensores (NS) es más apropiado para esta finalidad. En comparación, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que dependen de la observación manual o computarizada no cumplen completamente con las necesidades específicas de la agricultura de precisión debido a las características particulares del entorno agrícola, resultando en una eficacia reducida para la problemática en cuestión.

Pero por su lado, Wang et al., (2022); afirma que los nanosensores como tecnologías de agricultura de precisión es rentable, duradero.

Así Cisternas et al., (2020), apoya lo mencionado por Wang et al., (2022), al señalar que la agricultura de precisión como una limitación que puede ser el tema económico, ya que, puede llegar a ser costoso implementarlo; por lo que, se recomienda la incorporación de una o dos tecnologías y evaluar cuidadosamente los resultados.

## **V. CONCLUSIONES**

En investigaciones recientes, de los últimos cinco años, sobre la agricultura de precisión (AP), se ha destacado el uso de Nanosensores (NS) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) como métodos principales.

La efectividad de la agricultura de precisión en minimizar la contaminación del agua ha sido consistentemente alta. Esto se debe a la capacidad de estos métodos para reducir de manera eficaz los contaminantes.

Sin embargo, al evaluar los desafíos y limitaciones de la implementación de estas tecnologías en la disminución de la contaminación del agua, se observa que aunque son efectivas en general, los Nanosensores (NS) resultan más adecuados para este propósito. Esto se debe a que los sistemas de Información Geográfica (SIG), especialmente aquellos que dependen de la visión manual o computarizada, no cumplen con todas las necesidades específicas de la agricultura de precisión, dada la singularidad del entorno agrícola y sus objetivos específicos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Es aconsejable extender tanto la investigación teórica como práctica en el campo de la agricultura de precisión, especialmente en su aplicación para la reducción de la contaminación del agua. Considerando que en Latinoamérica, y específicamente en países como Perú, aún no se han desarrollado estudios extensos en este ámbito, se sugiere fomentar la adopción y aplicación de estas tecnologías.

Asimismo, se propone la realización de estudios a nivel piloto para explorar cómo las tecnologías de agricultura de precisión podrían aplicarse en el contexto de la agricultura peruana, con un enfoque específico en la gestión de la fertilidad del suelo y la disminución de la contaminación acuática.

Debido que al implementar la agricultura de precisión se debe realizar la incorporación de un conjunto de tecnologías de la información (TI) de manera inmediata; pero ello sería costoso; por lo cual se recomienda un enfoque incremental para su implementación, donde se dé la incorporación de una o dos tecnologías y evaluar cuidadosamente los resultados.

## REFERENCIA

- ANTUNOVIĆ, Vesna, et al. Synthesis of MnCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles as modifiers for simultaneous determination of Pb (II) and Cd (II). *PloS one*, 2019, vol. 14, no 2, p. e0210904. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210904>
- Cordero, Z. R. V. (2009). La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155–165. <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/educacion/article/view/538>
- Castellanos, J. M., Ramírez, J. D., & Osorio, D. J. (2021). Agricultura de precisión como herramienta para la protección del agua. *Revista de Investigación Ambiental*, 12(1), 35-45. doi: 10.15662/REIA.2021.121.03
- Chen, Q., Li, S., Li, X., Li, X., Zhang, Y., & Wang, X. (2020). Effects of precision agriculture on soil properties and crop yield: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 116, 126029.
- CHEN, Y.; ZHANG, B.; ZHENG, Y. Effects of precision agriculture on reducing water pollution in China: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 2018, vol. 25, no. 3, p. 2062-2073. DOI 10.1007/s11356-017-0637-6. ISSN 1614-7499.
- CISTERNAS, Isabel, et al. Systematic literature review of implementations of precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2020, vol. 176, p. 105626. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105626>
- DE MARTÍ, Santiago Planas. Agricultura de precisión y protección de cultivos. *Revista de Ingeniería*, 2019, no 47, p. 10-19. <http://dx.doi.org/10.16924%2Fria.v0i47.985>
- ELZAIN, Hussam Eldin, et al. Comparative study of machine learning models for evaluating groundwater vulnerability to nitrate contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2022, vol. 229, p. 113061. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113061>
- FU, Baihua, et al. A review of catchment-scale water quality and erosion models and a synthesis of future prospects. *Environmental modelling & software*, 2019, vol. 114, p. 75-97. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.12.008>



- Gómez, E., Durán, J. C., & Salinas, E. (2020). Agricultura de precisión para la conservación del suelo y la protección del medio ambiente. *Revista de Investigación Científica*, 10(2), 45-53.
- Guo, P., Li, Y., Wei, L., & Lu, W. (2020). The impact of precision agriculture on resource use efficiency and environmental sustainability: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109791.
- GUO, Xihong, et al. Insights into the role of pyrrole doped in three-dimensional graphene aerogels for electrochemical sensing Cd (II). *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2020, vol. 871, p. 114323. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114323>
- HANSON, Erik D.; COSSETTE, Max K.; ROBERTS, David C. The adoption and usage of precision agriculture technologies in North Dakota. *Technology in Society*, 2022, vol. 71, p. 102087. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102087>
- Hernández, J. J., & Oviedo, J. R. (2018). Agricultura de precisión: una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 133-142. doi: 10.22490/21456453.3013
- JIMENEZ-FALCAO, Sandra, et al. Dithioacetal-mechanized mesoporous nanosensor for Hg (II) determination. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2020, vol. 297, p. 110054. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110054>
- Khan, S., Hanjra, M. A., & Mu, J. (2019). Pathways to reduce environmental contamination through precision agriculture. *Journal of Environmental Management*, 236, 785-797.
- KALLAS, Z.; KOUTROUBAS, A.; TSIKOUDAKIS, A. et al. Precision agriculture and water quality protection: A review of the current state-of-the-art. *Precision Agriculture [en línea]*. 2018, vol. 19, no. 5, p. 813-834. DOI 10.1007/s11119-017-9517-9. ISSN 1385-2256.
- KONG, Yang, et al. Spatial-temporal variation and driving factors decomposition of agricultural grey water footprint in China. *Journal of Environmental Management*, 2022, vol. 318, p. 115601. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115601>

- LI, X.; ZHOU, X.; YANG, W. et al. Impact of precision agriculture on water quality: a case study in the Mississippi River Basin. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 2020, vol. 271, art. 111022. DOI 10.1016/j.jenvman.2020.111022. ISSN 0301-4797.
- LANDA-CANCINO, Y.; VERGARA-ALVARADO, M.; GÓMEZ-COELLO, M. et al. Agricultura de precisión para la gestión de la fertilidad del suelo y la reducción de la contaminación del agua en el valle de Jequetepeque, Perú. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* [en línea]. 2018, vol. 9, no. 1, pp. 1-14. ISSN 1994-7151.
- Li, X., Chen, S., Zou, J., Liu, H., & Lu, W. (2021). Effects of precision irrigation on groundwater quality in North China Plain. *Journal of Environmental Management*, 278, 111544.
- MEKONNEN, Mesfin M.; HOEKSTRA, Arjen Y. Global anthropogenic phosphorus loads to freshwater and associated grey water footprints and water pollution levels: A high-resolution global study. *Water resources research*, 2018, vol. 54, no 1, p. 345-358. <https://doi.org/10.1002/2017WR020448>
- MORENO, Begoña et al. Revisión Sistemática: definición y nociones básicas. *Rev. Clin. Periodoncia Implantol. Rehabil. Oral* [en línea]. 2018, vol. 11, 84-186. ISSN 0719-0107 [fecha de consulta: 05 de mayo 2021]. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0719-01072018000300184](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-01072018000300184)
- MORA, E.; MONGE-RODRÍGUEZ, A.; OROZCO-AGUILAR, L. et al. Beneficios ambientales de la agricultura de precisión en Costa Rica. *Agroalimentaria* [en línea]. 2020, vol. 26, no. 52, pp. 15-25. ISSN 2448-7454.
- NEUMANN, Alex, et al. A review of the current state of process-based and data-driven modelling: guidelines for Lake Erie managers and watershed modellers. *Environmental Reviews*, 2021, vol. 29, no 4, p. 443-490. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0070>
- NIGAM, Rahul, et al. Crop type discrimination and health assessment using hyperspectral imaging. *Current Science*, 2019, vol. 116, no 7, p. 1108-1123. <https://www.jstor.org/stable/27138003>

- Pérez, J. R., & Bernal, G. (2019). Agricultura de precisión con drones: tecnología para el manejo eficiente del agua y los fertilizantes. *Agroproductividad*, 12(1), 89-97.
- PRIYADARSHINI, Ishaani, et al. Water pollution reduction for sustainable urban development using machine learning techniques. *Cities*, 2022, vol. 130, p. 103970. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103970>
- RODRÍGUEZ, Ricardo Alfaro; LEIVA, Fabio Rodrigo; GÓMEZ, Manuel Iván. Zonas homogéneas para manejo específico por sitio en maíz usando un sensor de inducción electromagnética en la Sabana de Bogotá. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 2015, vol. 18, no 2, p. 373-383. <https://doi.org/10.31910/rudca.v18.n2.2015.163>
- Qiao, Y., Lu, L., Huang, Q., Zhou, J., & Song, X. (2021). Can precision agriculture reduce phosphorus pollution in China? An empirical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123708.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, R.; SILVA-HERNÁNDEZ, J.; GARCÍA-MORALES, S. et al. Agricultura de precisión y su impacto en la reducción de la contaminación del agua en México. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* [en línea]. 2019, vol. 10, no. 1, pp. 1-12. ISSN 1994-7151.
- SHARPLEY, Andrew N. Agriculture, nutrient management, and water quality. *Encyclopedia of Biodiversity*, 2013, p. 95-110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00361-0>
- Shoib Rashid Saleem, Jana Levison, Zainab Haroon. Chapter 12 - Environment: role of precision agriculture technologies. *Precision Agriculture Evolution, Insights and Emerging Trends*. 2023, Pages 211-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18953-1.00012-X>
- SINGH, Prachi, et al. Hyperspectral remote sensing in precision agriculture: Present status, challenges, and future trends. En *Hyperspectral remote sensing*. Elsevier, 2020. p. 121-146. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102894-0.00009-7>
- SINGH, Rekha; ANDALURI, Gangadhar; PANDEY, Vimal Chandra. Cities' water pollution—Challenges and controls. En *Algae and Aquatic Macrophytes in Cities*. Elsevier, 2022. p. 3-22. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824270-4.00015-8>

- TAN, Mou Leong, et al. A review of SWAT applications, performance and future needs for simulation of hydro-climatic extremes. *Advances in Water Resources*, 2020, vol. 143, p. 103662. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103662>
- Thomas Shahady. Chapter 19 - Agricultural water pollution. *Water and Climate Change Sustainable Development, Environmental and Policy Issues*. 2022, Pages 365-382. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99875-8.00015-X>
- Torres, A., & Armas, C. (2020). Agricultura de precisión: una solución sostenible para la protección del agua. *Revista de Investigación Académica*, 1, 25-31.
- TURAN, Veysel, et al. Co-inoculation effect of Rhizobium and Achillea millefolium L. oil extracts on growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and soil microbial-chemical properties. *Scientific reports*, 2019, vol. 9, no 1, p. 15178. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51587-x>
- WANG, Mingjing, et al. Review of nonpoint source pollution models: current status and future direction. *Water*, 2022, vol. 14, no 20, p. 3217. <https://doi.org/10.3390/w14203217>
- WANG, H.; DING, L.; QIU, S. et al. Impact of precision agriculture on agricultural productivity, profitability, and nutrient runoff: A case study in Taihu Lake Basin, China. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. 2020, vol. 245, art. 118925. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.118925. ISSN 0959-6526.
- WANG, Engui, et al. A triboelectric nanosensor based on ultra-thin MXene composite paper for heavy metal ion detection. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2022, vol. 32, no 4, p. 044003. <https://doi.org/10.1088/1361-6439/ac542b>
- Wang, H., Zhang, B., Hu, Y., & Li, W. (2020). Impacts of precision agriculture on water use efficiency and water quality: A review. *Agricultural Water Management*, 240, 106296.
- WANG, Xinxing, et al. A ratiometric electrochemical sensor for simultaneous detection of multiple heavy metal ions based on ferrocene-functionalized metal-organic framework. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2020, vol. 310, p. 127756. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.127756>

- XUE, Jingyuan; WANG, Qiren; ZHANG, Minghua. A review of non-point source water pollution modeling for the urban–rural transitional areas of China: Research status and prospect. *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 826, p. 154146. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154146>
- Yang, Y., Chen, X., Jiang, X., Lin, Y., & Huang, G. (2019). The effects of precision agriculture on nitrogen pollution control: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 240, 13-21.
- YE, Wei, et al. Electrochemical detection of trace heavy metal ions using a Ln-MOF modified glass carbon electrode. *Journal of Solid State Chemistry*, 2020, vol. 281, p. 121032. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2019.121032>
- YE, Weixiang, et al. Multiplexed detection of heavy metal ions by single plasmonic nanosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 2022, vol. 196, p. 113688. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113688>
- Yu, Y., Li, H., Li, B., Zhao, X., & Zou, W. (2021). Effects of precision agriculture on pesticide reduction and yield improvement: A meta-analysis. *Agricultural Systems*, 194, 103051.
- YUAN, Liang, et al. Transboundary water sharing problem; a theoretical analysis using evolutionary game and system dynamics. *Journal of Hydrology*, 2020, vol. 582, p. 124521. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124521>
- YUAN, Lifeng; SINSHAW, Tadesse; FORSHAY, Kenneth J. Review of watershed-scale water quality and nonpoint source pollution models. *Geosciences*, 2020, vol. 10, no 1, p. 25. <https://doi.org/10.3390/geosciences10010025>
- Zhang, Y., Zhu, W., Hu, Z., & Chen, Y. (2021). Impact of precision agriculture on water quality: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 763, 142986.
- Zhou, J., Lu, L., Huang, Q., & Qiao, Y. (2020). Can precision agriculture reduce water pollution in China? An empirical analysis. *Journal of Environmental Management*, 259, 110-119.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de categorización apriorística

PE	OE	Categorías	Subcategorías (apriorísticas)	Criterios
¿Cuáles son los estudios de investigación sobre la agricultura de precisión en los últimos 5 años?	Identificar los estudios de investigación sobre la agricultura de precisión en los últimos 5 años	Tecnologías de agricultura de precisión	Sistemas de riego inteligentes	Eficacia en la reducción de la contaminación del agua
				Sensores para la detección de nitratos y fósforo
				Técnicas de aplicación de fertilizantes
				Mapas de rendimiento de cultivos
¿Cuáles son las tecnologías de agricultura de precisión más eficaces para reducir la contaminación del agua?	Evaluar la eficacia de las tecnologías de agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua	Fuentes de contaminación	Eficacia en la reducción de la contaminación del agua	Comparación de la eficiencia de acuerdo al método utilizado
¿Cuáles son las limitaciones y desafíos de la implementación de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua?	Analizar las limitaciones y desafíos de la implementación de la agricultura de precisión en la reducción de la contaminación del agua	limitaciones y desafíos de la implementación de la agricultura de precisión	Económico	Limitaciones en su aplicación
			Facilidad de aplicación	
			Tiempo	