



# Rivar

REVISTA IBEROAMERICANA DE  
VITICULTURA, AGROINDUSTRIA  
Y RURALIDAD

Editada por el Instituto  
de Estudios Avanzados de la  
Universidad de Santiago de Chile

# APORTES DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD SOSTENIBLE: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA



*Precise Agriculture Contributions to  
Sustainable Productivity: A Systematic  
Review*

*Agricultura de precisão na produtividade  
sustentável: Uma revisão sistemática*

**Carlos Diego Rodríguez Yparraguirre**

Universidad Nacional de Trujillo

Trujillo, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8527-8148>

[cdrodriguez@unitru.edu.pe](mailto:cdrodriguez@unitru.edu.pe)

**Abel José Rodríguez Yparraguirre**

Universidad Nacional del Santa

Chimbote, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2434-4663>

[arodriguez@uns.edu.pe](mailto:arodriguez@uns.edu.pe)

**Iván Martín Olivares Espino**

Universidad Nacional de Trujillo

Trujillo, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4499-5161>

[iolivares@unitru.edu.pe](mailto:iolivares@unitru.edu.pe)

**Wilson Arcenio Maco Vásquez**

Universidad Nacional de Trujillo

Trujillo, Perú

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0557-819X>

[wmaco@unitru.edu.pe](mailto:wmaco@unitru.edu.pe)

**Vol. 12, N° 36, 238-256, julio de 2025**

ISSN 0719-4994

Artículo de investigación

<https://doi.org/10.35588/5rmk9326>

## Recibido

23 de febrero de 2024

## Aceptado

8 de enero de 2025

## Publicado

6 de agosto de 2025

## Cómo citar

Rodríguez Yparraguirre, C.D. et al. (2025). Aportes de agricultura de precisión en la productividad sostenible: Una revisión sistemática. *RIVAR*, 12(36), 238-256.

<https://doi.org/10.35588/5rmk9326>

## ABSTRACT

Precision agriculture has generated new forms of agricultural production, especially due to the scarcity of essential resources for fertilization and field monitoring. In this sense, the objective was to determine the contributions of precision agriculture to the sustainable productivity of the agricultural sector. For this purpose, the PRISMA systematic review method was employed, utilizing the Web of Science and Scopus databases. The search period spanned from 2019 to 2024, with a total of 31 documents related to the topic of interest. These documents were analyzed using R – Studio, yielding an inertia of 1.44 for precision agriculture and 0.99 for sustainable productivity. In summary, precision agriculture provides significant contributions to the sustainable productivity of crops, including the sustainability of water resources, fertilizer management, sensor network structures, and precision in hydroponic cultivation.

## KEYWORDS

Precision farming, productivity, sustainability, fertilization, resources.

## RESUMEN

La agricultura de precisión ha generado nuevas formas de producción agrícola, debido principalmente a la escasez de los recursos esenciales para llevar a cabo la fertilización y el monitoreo de los campos. En ese sentido, se tuvo como objetivo determinar los aportes que brinda la agricultura de precisión a la productividad sostenible del sector agrícola. Para ello se tuvo al método de revisión sistemática PRISMA, la base de datos fue Web of Science y Scopus y el periodo de búsqueda fue del 2019 al 2024, obteniendo un total de 31 documentos relacionados al tema de interés, los cuales fueron analizados en el R–Studio, obteniendo una inercia de 1,44 en la agricultura de precisión y 0,99 en la productividad sostenible. Llegando a la conclusión que la agricultura de precisión brinda grandes aportes a la productividad sostenible de los cultivos, tales como la sostenibilidad de los recursos hídricos, la gestión de fertilizantes, estructura de redes de sensores y la precisión en el cultivo hidropónico.

## PALABRAS CLAVE

Agricultura de precisión, productividad, sostenibilidad, fertilización, recursos.

## RESUMO

A agricultura de precisão tem gerado novas formas de produção agrícola, especialmente devido à escassez de recursos essenciais para a fertilização e monitoramento dos campos. Nesse sentido, o objetivo foi determinar as contribuições da agricultura de precisão para a produtividade sustentável do setor agrícola. Para isso, foi utilizado o método de revisão sistemática PRISMA, com as bases de dados Web of Science e Scopus. O período de busca foi de 2019 a 2024, resultando em um total de 31 documentos relacionados ao tema de interesse. Esses documentos foram analisados no R–Studio, obtendo uma inércia de 1,44 para a agricultura de precisão e 0,99 para a produtividade sustentável. A conclusão é que a agricultura de precisão proporciona importantes contribuições para a produtividade sustentável das culturas, incluindo fertilização ótima, detecção de pragas, previsão de colheitas, manejo de terras e monitoramento em tempo real das culturas.

## PALAVRAS-CHAVE

Agricultura de precisão, produtividade, sustentabilidade, fertilização, recursos.

## Introducción

La seguridad alimentaria global enfrenta desafíos sin precedentes ante el crecimiento de la población mundial, que según proyecciones alcanzará los 9.700 millones de personas para el año 2050 (Turnip et al., 2023). Esta situación se intensifica por los efectos del cambio climático, que favorece la proliferación de malezas y el brote de nuevas plagas, que afecta directamente la productividad agrícola, pues si bien el desarrollo tecnológico actual ofrece herramientas de control, su implementación sin una evaluación rigurosa de impactos futuros podría comprometer la sostenibilidad agrícola (Visentin et al., 2023). En este contexto, la adopción de soluciones tecnológicas integradas como la agricultura, ganadería y apicultura de precisión, junto con prácticas modernas de gestión agrícola, emerge como una estrategia fundamental para mantener la productividad de los cultivos que aseguren la producción sostenible de alimentos (Cota et al., 2023; Wakjira et al., 2021).

La productividad sostenible se entiende como la capacidad que tiene un sistema productivo para desarrollar productos de manera eficiente y efectiva sin comprometer los recursos para las generaciones futuras, un principio que en el ámbito agroproductivo implica un balance entre la productividad, la conservación ambiental y el bienestar social (Liang et al., 2023). Por otro lado, la agricultura de precisión se refiere a la aplicación de tecnologías avanzadas, como sensores y datos geoespaciales, para optimizar la producción agrícola, permitiendo un manejo más eficiente de insumos en comparación con las prácticas agrícolas tradicionales, abordando conceptos interrelacionados, como la gestión del agua, la agroecología y la economía circular, para establecer parámetros sobre cómo la agricultura de precisión puede contribuir con la sostenibilidad del sistema agroalimentario (Hundal et al., 2023).

En el sector agrícola, se tiene pérdidas significativas del 33% anual a causa de la detección tardía de las enfermedades asociadas a los cultivos; en Malawi, África, los agricultores representan el 80% de la población y son de naturaleza humilde, así también en Sichuan, China, las tierras de cultivo no cerealeras amenazan la producción sostenible y la seguridad alimentaria mundial (Liang et al., 2023; Waheed et al., 2023). Por otro lado, Marruecos, Estados Unidos y Canadá son potencias en agricultura pero necesitan producir sosteniblemente para generar desarrollo sostenible (Ed-Daoudi et al., 2023; Hundal et al., 2023). En respuesta a ello se utiliza la tecnología para el monitoreo continuo a través del IoT en la horticultura (Postolache et al., 2023), la agricultura vertical, la hidroponía que no utiliza suelo, utilizando diez a trece veces menor cantidad de recurso hídrico, y cuyos productos son cinco a diez veces mejor calidad, gracias a las herramientas inteligentes, como los sensores avanzados en la agricultura (Dutta et al., 2023; Shukla et al., 2023).

La agricultura enfrenta múltiples desafíos que amenazan su sostenibilidad, entre las cuales destacan la gestión ineficiente del agua, la degradación del suelo y la contaminación del aire (Neményi et al., 2022); es por ello que se debe caracterizar los suelos para orientar una solución sostenible y mitigar el problema de la alimentación mundial, con herramientas innovadoras, rompiendo el paradigma de la relación costo-tecnología, partiendo desde la siembra del cultivo para maximizar las utilidades (Toscano et al., 2022), fertilizando con nitrógeno de manera optimizada y en el momento del requerimiento, que es establecido por las herramientas que son propias de la agricultura inteligente, como los sensores ópticos y drones para la georreferenciación, es por ello que se debe desterrar las prácticas de la eco-

nomía tradicional y hacer un salto tecnológico hacia la agricultura de precisión, enlazado con los monitoreos ambientales de manera interrelacionada.

De lo redactado en los párrafos anteriores se formula la siguiente interrogante ¿cuáles son los aportes de la agricultura de precisión en la producción sostenible de alimentos, en el ámbito del crecimiento poblacional, durante el espacio de tiempo del 2019 al 2024?

La importancia de este estudio radicó en su capacidad para proporcionar una visión integral sobre el papel que desempeña la agricultura de precisión en la sostenibilidad de dicho sector, logrando identificar prácticas innovadoras que optimicen el uso de recursos naturales y mejoren la productividad agrícola, lo que es crucial ante la creciente demanda alimentaria y los desafíos del cambio climático, dado que este trabajo no solo contribuyó a la generación de conocimiento en el ámbito académico, sino que también brindó recomendaciones prácticas para políticas y programas que busquen fomentar la sostenibilidad en la producción agrícola, brindando un recurso valioso para investigadores, responsables de políticas y actores del sector, facilitando un salto hacia prácticas agrícolas más responsables y sostenibles a nivel global.

En ese sentido, la revisión sistemática tiene por objetivo determinar los aportes de la agricultura de precisión en la producción sostenible de alimentos, en el ámbito del crecimiento poblacional, durante el espacio de tiempo del 2019 al 2024.

Para dar respuesta a la interrogante planteada y seguir hacia el cumplimiento del objetivo, se presentaron los siguientes apartados del documento. Se inició con una introducción donde se estableció el contexto global, las definiciones conceptuales de los términos “agricultura de precisión” y “productividad sostenible”, todo enmarcado en el sector agrícola, luego se realizó la metodología apoyándose en el protocolo PRISMA 2020 (Yepes-Nuñez et al., 2021), que sirvió como directriz para la evaluación e inclusión de los documentos extraídos de las bases de datos Scopus y Web of Science, obteniendo 31 estudios que fueron analizados mediante el software de código abierto R-4.3.2 para Windows y su IDE R Studio versión: 2023.12.1+402 que sirvieron de referencia para la discusión crítica de los temas abordados, agrupados por conglomerados y subtemas que dan nuevas luces de los futuros aportes de la agricultura de precisión en el desarrollo sostenible, finalmente se concluyó con los aportes significativos de la agricultura de precisión en la productividad sostenible del sector agrícola.

## Metodología

### *Diseño del estudio*

El protocolo utilizado para la revisión tuvo un enfoque mixto de PRISMA 2020 (Yepes-Nuñez et al., 2021) y bibliometría, donde se describió los pasos secuenciales para llevar a cabo la inclusión de los documentos, teniendo como objetivo fomentar la claridad, transparencia y calidad de los informes de revisión sistemática, el cual sirvió como directriz para identificar la población de estudio, los tipos de intervenciones o experimentos que se han realizado en el trabajo, para las comparaciones de los resultados de los aportes de la agricultura de precisión en la productividad sostenible.

El análisis bibliométrico se llevó a cabo mediante la descripción general de los documentos, nube de palabras, impacto global de las revistas, árbol de tres campos, mapa temático, análisis factorial de componentes principales y dendograma, teniendo un enfoque mixto que permitió no solo contabilizar y analizar las publicaciones, citas y tendencias de investigación en este campo, sino también extraer información relevante de los estudios seleccionados, como metodologías, hallazgos y contextos de aplicación.

### ***Criterios de elegibilidad***

Las bases de datos seleccionadas para el análisis de documentos fueron Scopus y Web of Science, donde se realizó una exhaustiva búsqueda de documentos publicados, mediante el análisis bibliométrico y sistemático de documentos que se encuentran alojados en la base de datos de alto impacto, considerando para ello la información correspondiente de cada documento; considerando artículos originales que aborden la temática relacionada a la agricultura de precisión y la productividad sostenible.

### ***Estrategia de búsqueda***

La estrategia de búsqueda de literatura incluyó ecuaciones de búsqueda y códigos booleanos que contribuyen con el vacío de conocimiento sobre agricultura de precisión y como se involucra con la productividad sostenible de los alimentos que están asociados al sector agroalimentario, en este sector se tiene a las bases de datos, Scopus y Web of Science, el criterio de búsqueda fue *title-abs-key (precision AND agriculture AND sustainable AND productivity)*, para ingresar a ambas bases de datos se utilizó el operador booleano AND por ser una conjunción que involucra ambas palabras indizadas por las revistas, realizando la búsqueda el 29 y 30 de enero del 2024. Inicialmente con esta ecuación de búsqueda se obtuvieron 413 documentos en Scopus y 354 documentos en Web of Science.

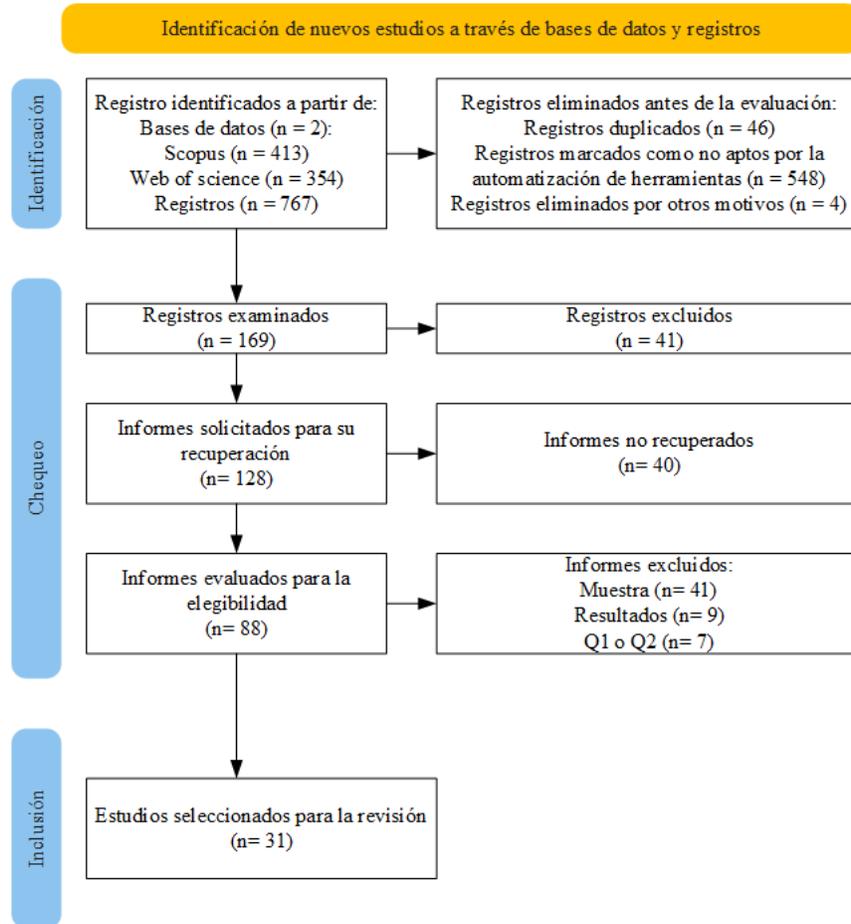
### ***Proceso de selección de documentos***

El proceso de selección de documentos utilizó filtros de tiempo del 2019 al 2024, idioma inglés, open access y artículos; para ambas bases de datos se obtuvieron 81 documentos y 138 documentos respectivamente. Luego se realizó la exportación de ambas bases de datos utilizando el software libre R-Studio versión 2023.12.0+402, eliminando automáticamente 46 documentos y luego de una inspección rápida de los títulos de los trabajos se eliminaron 4 elementos que tenían el mismo título, pero difieren en algunos caracteres propios de las bases de datos quedando así 169 documentos.

La red de coocurrencia se utiliza para visualizar y analizar las relaciones entre conceptos, permitiendo identificar patrones, temas recurrentes y conexiones entre diferentes ideas. En ese sentido, el análisis de los 169 documentos identificó de manera visual un total de seis clúster (Figura 1), en los que se agruparon las palabras más frecuentes del tema abordado y de acuerdo a la relevancia, teniendo al término *precision agriculture* como el más representativo de la red (azul) y más recurrente que indizan las bases de datos, así mismo hace sinergia con el término *sustainable development* (morado) y *crops* (marrón) que forman parte de otro grupo y ambos se relacionan con otro grupo que enmarca a la productividad (naranja).



**Figura 2.** Diagrama PRISMA de la revisión sistemática  
*Figure 2. PRISMA diagram of the systematic review*



Fuente: elaboración propia, en base a PRISMA. Source: own elaboration, based on PRISMA.

## Resultados y discusión

El análisis descriptivo de los 31 artículos seleccionados de acuerdo al protocolo PRISMA, se llevó a cabo utilizando el software R-Studio en la ventana descripción general, donde se obtuvo 19 fuentes principales publicadas entre el 2019 al 2024, con una tasa de crecimiento de 62,66% al 2023, los documentos presentaron en promedio 5,77 de coautores por documento, el 25, 81% tuvieron colaboración internacional de coautoría, con un total de 179 autores de 21 países, con 888 referencias y un promedio de 7.194 citas por documento y respecto a las palabras clave de los autores se tuvieron 163. En el 2019 se tuvieron dos artículos y trece artículos en el 2023, tal como se muestra en Tabla 1, teniendo un aumento en el promedio de citas por año de los documentos.

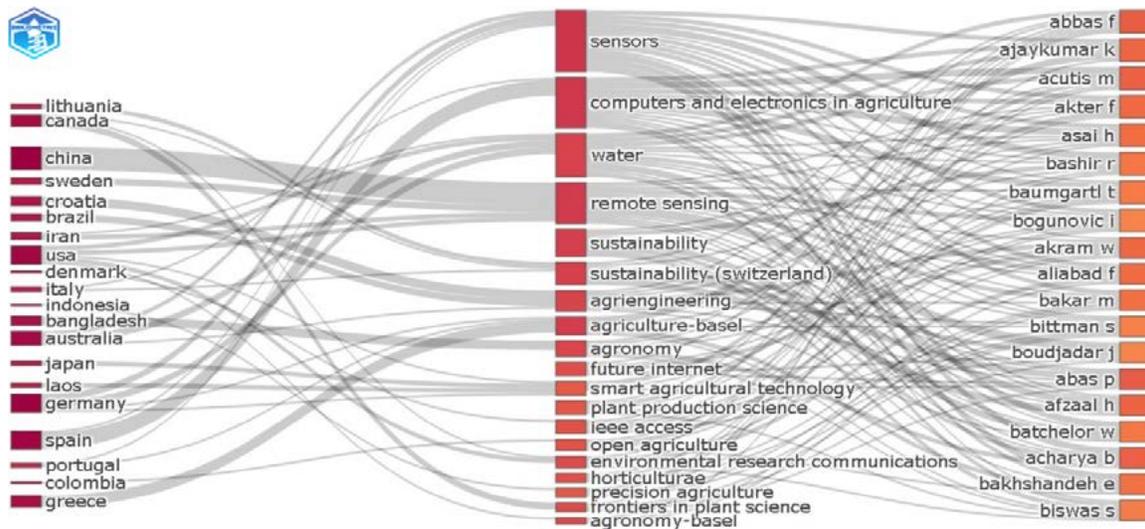
**Tabla 1.** Descripción general de los artículos  
*Table 1. Overview of the articles*

Año	Artículos	Promedio de total de citas por artículo	Promedio de total de citas por año
2019	2	7,00	1,17
2020	3	24,33	4,87
2021	4	5,25	1,31
2022	8	11,0	3,67
2023/2024	13/1	1,93	0,96

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

En Figura 3 se realizó una relación de tres campos, como el país del autor al lado derecho, en la parte central las revistas que publican el artículo y al lado izquierdo los autores. De los 21 países de los autores correspondientes se destaca a China, Alemania y Estados Unidos con tres artículos cada uno, seguido de Canadá, Italia, Portugal y España con dos artículos cada uno y por último los demás países como Croacia, Colombia, India, Japón, entre otros, cada uno con un artículo publicado. Estos autores han publicado en 19 revistas que están indexadas a Scopus o Web of Science. La producción de los países a través de la colaboración aumenta, teniendo China diez artículos, Alemania, España y Estados Unidos presentan ocho artículos y Australia con seis artículos.

**Figura 3.** Parcela de tres campos  
*Figure 3. Three-field plot*



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Luego se realizó la medición del impacto local de las principales fuentes en el paquete bibliometrix, donde se obtuvo a la revista Sensors con un índice H = 3, un índice G = 5 y un índice M de 0,50 con un total de 30 citas, contado a partir del 2019; la revista Sustainability presenta un índice H = 2, un índice G = 2, un índice M = 0,40 con un total de 46 citas, contado a partir del 2020; la revista Remote Sensing presenta un índice H = 2, un índice G = 3 y un índice M = 0,67 con un total de 21 citas, contando a partir de 2022, como se puede apreciar, estos indicadores bibliométricos orientan las publicaciones hacia la difusión de la investigación, pues son *open access*.

Por su parte, en Tabla 2 vemos los documentos más citados, donde se han publicado cinco, dos y tres artículos en el periodo del 2019 al 2024. Pero si combinamos al autor, el año y la revista en donde han sido publicados a nivel mundial, tenemos a Liu et al. (2022) en la revista *IEEE Access* y a Li et al. (2022) de la revista *Agronomy* y a Dutta et al. (2023) de la revista *Sensors*, los cuales tienen un promedio de 10,33, 7,33 y 6 citas totales por año, respectivamente.

**Tabla 2.** Documentos más citados a nivel mundial  
*Table 2. Most global cited documents*

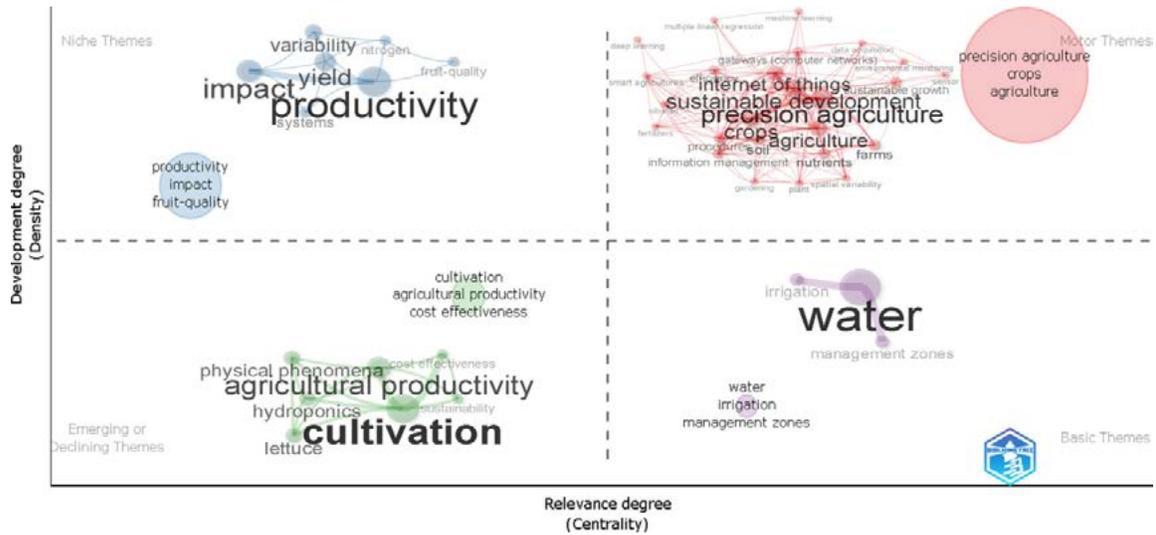
Autor, año y revista	Citas totales	Citas totales por año	Citas totales normalizadas
Liu et al. (2022), <i>IEEE Access</i>	31	10,33	2,82
Afzaal et al. (2020), <i>Sustainability</i>	28	5,60	1,15
Kawamura et al. (2020), <i>Plant Production Science</i>	27	5,40	1,11
Li et al. (2022), <i>Agronomy</i>	22	7,33	2,00
Zeraatpisheh et al. (2020), <i>Sustainability</i>	18	3,60	0,74
Tseng et al. (2022), <i>Remote Sensing-Basel</i>	16	5,33	1,45
Dutta et al. (2023), <i>Sensors</i>	12	6,00	6,22
Kho et al (2022), <i>Computers Electronics in Agriculture</i>	10	3,33	0,91
Shah et al. (2021), <i>Agriculture</i>	9	2,25	1,71
Postolache et al. (2023), <i>Sensors</i>	8	4,00	4,15
Sarker et al. (2019), <i>Agriengineering</i>	7	1,17	1,00
Vogel et al. (2019), <i>Sensors</i>	7	1,17	1,00
De Oliveira et al. (2021), <i>Water</i>	7	1,75	1,33

Fuente: Elaboración propia. Source: own elaboration.

En Figura 4 se muestra el criterio de keywords plus y la cantidad de 43 palabras que aparecieron en la nube, seleccionando sólo palabras que aparezcan dos o más veces en la base de datos, así mismo se excluyeron palabras que se han repetido o son una generalización de otro concepto, tales como *climate-change*, *crop evapotranspiration (etc)*, *ion-selective electrode*, *ion-selective electrodes*, *ion selective electrodes*, *measurements of*, *tm*, logrando disminuir el sesgo y el porcentaje de aporte que tiene cada palabra más frecuente. Se observa también en la figura 4a, la evolución de las palabras más frecuentes, siendo "agricultura de precisión" con un 6%, "agricultura" con 3%, seguido de "agua" con 2%, "productividad" con 2%, "desarrollo sostenible" con 2% e "internet de las cosas" con 2%.



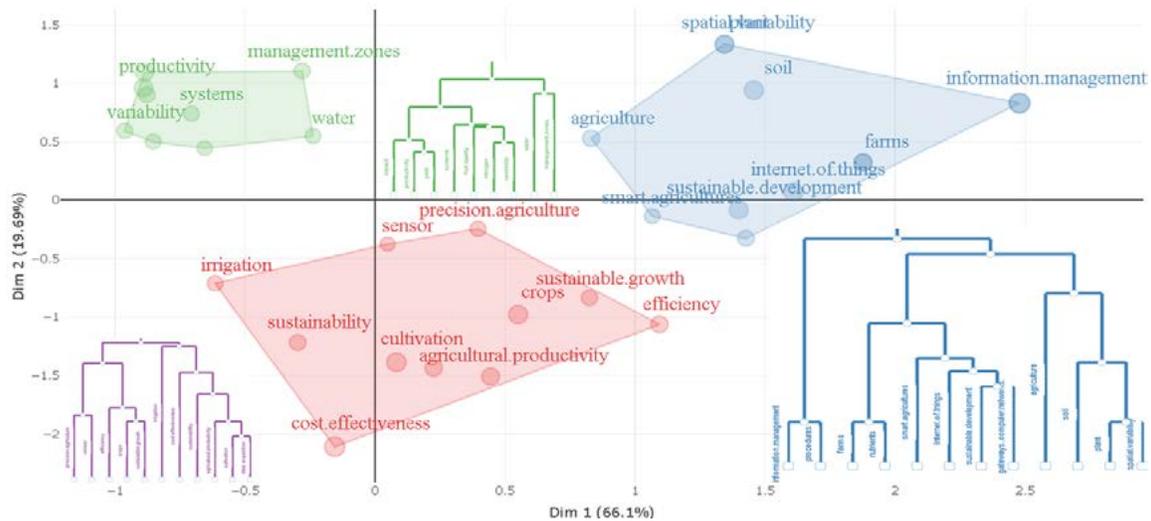
**Figura 5. Mapa temático y su red de clústeres**  
*Figure 5. Thematic map and cluster network*



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

En Figura 6 se muestra el análisis factorial de las palabras clave más frecuente, con el método de análisis de correspondencias múltiples, usando tres conglomerados. En el conglomerado de productividad, se tiene una inercia de 0,98 y nueve términos; en el conglomerado de agricultura de precisión, se presenta una inercia de 1,44 y once términos, y en el conglomerado de desarrollo sostenible, vemos una inercia de 1,56 y doce términos en el tema dendograma, en donde los artículos y las revistas contribuyen al análisis, como es el caso de Bristow et al. (2022), Sánchez et al. (2023) y Visentin et al. (2023), con una contribución de 27,72, 24,89 y 22,29 respectivamente.

**Figura 6. Mapa de palabras y tema dendograma**  
*Figure 6. Word map and topic dendrogram*



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

En Tabla 3 se expone el análisis temático de los estudios, teniendo en cuenta las seis dimensiones obtenidas del análisis bibliométrico, los cuales abordaron el desarrollo sostenible con 25% de los documentos, *machine learning* el 10%, *deep learning* el 15%, productividad del cultivo el 15%, gestión del cultivo el 25% y gestión del riego con 10%, los cuales fueron aquellos temas que se obtuvieron de cada clúster.

**Tabla 3.** Síntesis de los documentos en dimensiones  
*Table 3. Synthesis of documents across dimensions*

Dimensión	Aporte	Autor(es)
Desarrollo sostenible	Control de la humedad óptima del riego por aspersión a través de redes neuronales y aprendizaje profundo.	Singh et al. (2023)
	Plataforma IoT para la nube sobre la optimización de tareas en el tomate.	Thilakarathne et al. (2023)
	Mejoramiento del rendimiento del maíz mediante la separación del nitrógeno del estiércol.	Li et al. (2021)
	Comparación del ciclo de vida del trigo con la agricultura de precisión y la agricultura tradicional.	Kazlauskas et al. (2023)
	Desarrollo de un sistema tecnológico basado en IoT para la detección de nutrientes en la horticultura.	Postolache et al. (2023)
Machine Learning	Modelamiento de rasgos del trigo mediante la obtención de datos con vehículos aéreos no tripulados.	Li et al. (2022)
	Diseño de robot identificador de malezas mediante redes neuronales.	Shah et al. (2021)
Deep Learning	Imágenes de Landsat 8 para el monitoreo de los árboles después de la aplicación foliar.	Aliabad et al., (2022)
	Comprensión de la dinámica suelo – agua y la evapotranspiración de un viñedo en laderas..	Krevh et al. (2023)
	Estimación de parámetros de los cultivos leñosos a través de escáner láser.	Torres-Sánchez et al. (2023)
Productividad del cultivo	Calibración de los parámetros del suelo a través del Soil Profile Optimize.	Trenz et al. (2023)
	Determinación del costo-eficiencia de cítricos a través del manejo de suelos con PCA y Fuzzy Clustering.	Zeraatpisheh et al. (2020)
	Mejoramiento del rendimiento del tomate mediante el control de humedad de la lectura del sensor.	De Oliveira et al. (2021)
Gestión del cultivo	Distribución de nitrógeno para el maíz mediante un sensor de vigor proximal CroSpec.	Schillaci et al. (2021)
	Detección de imágenes de plántula de arroz a través del modelo EfficientDet-D0 y Faster R-CNN.	Tseng et al. (2022)
	Detección de trastornos en los cultivos (Plagas) a través de herramientas de internet de las cosas (IoT).	Liu et al. (2022)
	Identificación del desarrollo del arroz utilizando vehículos aéreos no tripulados.	Kawamura et al. (2020)
	Mejora del crecimiento de la lechuga mediante la recirculación del sustrato.	Dutta et al. (2023)
Gestión del riego	Estrategias de riego complementario para la siembra de papa.	Afzaal et al. (2020)
	Riego por goteo y Acolchado en terrenos semiáridos para la eficiencia hídrica	Terán-Chaves et al. (2023)

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

En ese sentido, las perspectivas a futuro que tiene la agricultura de precisión son esenciales para la mejora sustancial del desarrollo productivo de los campos agrícolas, considerando

la productividad sostenible de los alimentos que provienen de dicho sector, sin utilizar de manera excesiva el consumo de los recursos críticos como el agua y el suelo fértil.

Respecto a la argumentación crítica de los resultados, se tiene al desarrollo sostenible de los alimentos que provienen del campo, pues a través de los componentes tecnológicos de software y hardware que se utiliza en la agricultura de precisión, se logró obtener una disminución de pesticidas químicas para la eliminación de malezas con una precisión de 97,8%, las cuales se encuentran presentes en el desarrollo productivo de los cultivos, generando una disminución en el rendimiento de los campos, utilizando modelos mixtos —autónomo y robótico— para el deshierbe de los cultivos logrando una mortalidad de 92,8% en las malezas del campo de maíz (Visentin et al., 2023), en cuanto a la detección de los trastornos que tienen las plantas mediante el *deep learning* se obtuvo una precisión del 99% en el manejo de la podredumbre del jengibre, logrando detectar las plagas con 0,71 en el patrón de plagas (Waheed et al., 2023).

### ***Uso sostenible de los recursos hídricos en los cultivos***

La gestión del agua en las plantas es fundamental para su desarrollo, es por ello que mediante la agricultura de precisión se utiliza la curva de evapotranspiración mediante la información recuperada de los satélites para obtener un volumen de 589,7 mm a 638,2 mm durante la variación temporal en el riego del maíz, logrando establecer los parámetros óptimos para el desarrollo de la planta, dependiendo del tamaño de la planta de 2,4% al 10,8% (Djaman et al., 2023). Por otro lado, en cuanto al control del riego mediante goteros automatizados a través de sensores tecnológicos y el control de pendientes, se logró un mayor rendimiento en la berenjena de 4,6% en comparación al proceso tradicional y una reducción de 38% de optimización del recurso hídrico (Sarker et al., 2019), en cuanto a los sensores autónomos de bajo costo y energéticamente eficiente lograron obtener indicadores de pH con una diferencia de 0,22 en relación a los sensores industriales, logrando una  $R^2=0,83$ , utilizando el internet de las cosas para programar a través de Arduino las dosis óptimas de agua que requiere las plantas a través de dispositivos de bajo costo (Tsiropoulos et al., 2022).

### ***La gestión de fertilizantes en la siembra de los cultivos***

El rendimiento de los cultivos es cada vez más complejo, sobre todo por la ausencia de minerales en el suelo agrícola, es por ello que la agricultura de precisión aparece como una alternativa de solución, utilizando las herramientas de internet de las cosas para obtener información sobre la dosificación de nitrógeno y humedad del suelo, el cual oscila entre 20% y 45% a fines de abril, utilizando la sonda digital mediante un transceptor LoRaWAN para la obtención de indicadores de la siembra de trigo (Bristow et al., 2022), en cuanto a la evaluación de la variabilidad en la biomasa de los pastizales, se obtuvo un coeficiente de variación de humedad de 0,2%, considerando herramientas de precisión como la teledetección y detección proximal para establecer el pH óptimo del suelo de 5,3 pH, coincidiendo con autores que establecen un pH óptimo de 5,8 y 7, 2 pH para la alfalfa (Vogel et al., 2019), del mismo modo, se tiene a los vehículos no tripulados para la detección de características fenotípicas del arroz en su desarrollo productivo (Kawamura et al., 2020).

Los fertilizantes son esenciales para el desarrollo agrícola, es por ello que se utiliza una diversidad de fertilizantes agroquímicos en el manejo agrícola, sin embargo, mediante la agricultura de precisión se están utilizando métodos para extraer el nitrógeno y el fósforo del estiércol, obteniendo una mejora en el rendimiento del maíz y el pasto de 20,1 tn/ha y 10,7 tn/ha (Li et al., 2021). Por otro lado, se tiene a la identificación espacial del suelo, utilizando la integración de los análisis de componentes del suelo y los métodos difusos que logran un mayor rendimiento de los cítricos, pues se lleva a cabo la identificación de los componentes de manera eficiente como el fósforo, potasio y carbono que tiene el suelo (Zeraatpisheh et al. (2020).

### ***Estructura de redes de sensores para la obtención de la información agrícola***

La agricultura inteligente logra mejorar la producción de los cultivos, utilizando redes de información mediante un sistema de códigos MQTT, obteniendo un 100% de eficiencia en el procesamiento de las características de los cultivos mediante de sensores, teniendo un acceso para cuatrocientos usuarios de manera simultánea (Turnip et al., 2023), por otro lado, se tiene el diseño de los sensores de dosel, los cuales se encargan de evaluar el rendimiento y la calidad, teniendo como información la clorofila del grano de arroz, mejorando el rendimiento de panículas que oscilan entre 7,5% a 14,2% (Lu et al., 2022). En esa misma línea se tiene al manejo del desarrollo de los árboles, tales como la palmera, donde se tuvo el monitoreo a través de redes de sensores inalámbricos (WSN), logrando una tasa de 2,3% en la confiabilidad para transmitir datos confiables sobre los factores ambientales, como temperatura, humedad relativa e intensidad de luz (Kho et al., 2022).

La estructura de redes también se utiliza para obtener información sobre las características físicas que puede tener un suelo óptimo, utilizando sensores tecnológicos para la toma de decisiones sobre el perfil y el tipo de siembra, obteniendo una reducción de 106 mm de agua extraíble (Trenz et al., 2023). En cuanto, a los sensores de identificación de imágenes logran detectar las enfermedades que tienen las plantas aromáticas de manera precisa, logrando tener una precisión de 91% en la detección (Liu et al., 2022). Asimismo, se tiene a la identificación de los parámetros que tiene el suelo, considerando la topografía montañosa, la retención de agua, tipo de suelo y pH, con el propósito optimizar dinámicamente la productividad del suelo hacia la sostenibilidad, utilizando el internet de las cosas y la aplicación móvil (Postolache et al., 2023). En ese mismo sentido, se tiene el avance que se ha obtenido en el manejo de la siembra de precisión, utilizando las tecnologías adecuadas para identificar la variabilidad que tiene el terreno para obtener información sobre las condiciones del suelo para la siembra, obteniendo una variación de 7482,3 kg/ha y 7782 kg/ha del trigo (Kazlauskas et al., 2023).

### ***La agricultura de precisión en el manejo hidropónico de cultivos***

La eficiencia y el crecimiento de las hortalizas que se obtiene a través del sustrato y el cultivo hidropónico genera un desarrollo para el manejo productivo, donde se obtuvo un ciclo de crecimiento de 60 a 90 días con sustrato, es por ello que se utilizan sistemas inteligentes para el control de agua y el consumo de nutrientes óptimos, bajo un ambiente con condiciones adecuadas para la lechuga (Dutta et al., 2023). Por otro lado, el recurso hídrico tiene grandes desafíos para el manejo tecnológico, es por ello que existe la necesidad de utilizar

sistemas de control para optimizar el riego a través de los registros de drenaje, pH y conductividad del suelo, logrando mejorar en 20% de los métodos de riego y la conductividad del calcio (Sánchez et al., 2023), en cuanto a los factores que se analizan en el riego de precisión se tiene al rendimiento de los frutos, los sólidos solutos del tomate y el crecimiento de los cultivos, para lo cual se realizó dentro de un invernadero a través de diseño de parcelas con cuatro repeticiones, utilizando sensores de capacitancia con código abierto (De Oliveira et al., 2021).

## Conclusiones

La agricultura de precisión brinda aportes fundamentales para el desarrollo sostenible de la agricultura contemporánea, pues dentro de los principales aportes se determinó avances en tecnologías como el internet de las cosas (IoT), aprendizaje automático, aprendizaje profundo y el uso de sensores; los cuales permiten obtener información relevante de los cultivos para llevar a cabo una gestión más eficiente de los recursos hídricos y fertilizantes, contribuyendo a la salud del suelo y a la reducción del uso de pesticidas, dado que este enfoque no solo optimiza el rendimiento de cultivos en suelo natural, sino que también favorece un manejo más sostenible en el cultivo hidropónico, contribuyendo con la detección temprana de plagas, trastornos en los cultivos y la predicción de cosechas, ya que es facilitada por tecnologías de monitoreo avanzadas, logrando reforzar la capacidad de los agricultores para tomar decisiones informadas y precisas, dado que la implementación de estas estrategias promete no solo mejorar la rentabilidad agrícola, sino también mitigar los impactos ambientales negativos, alineándose así con los objetivos de desarrollo sostenible, en otras palabras los hallazgos sugieren que la agricultura de precisión se presenta como una herramienta clave para afrontar los desafíos actuales de la producción alimentaria global, promoviendo un futuro agrícola más resiliente y sostenible.

## Bibliografía

- Afzaal, H., Farooque, A.A., Abbas, F., Acharya, B. y Esau, T. (2020). Precision Irrigation Strategies for Sustainable Water Budgeting of Potato Crop in Prince Edward Island. *Sustainability (Switzerland)*, 12(6), 2419. DOI [10.3390/su12062419](https://doi.org/10.3390/su12062419)
- Aliabad, F.A., Shojaei, S., Mortaz, M., Ferreira, C.S.S. y Kalantari, Z. (2022). Use of Landsat 8 and UAV Images to Assess Changes in Temperature and Evapotranspiration by Economic Trees following Foliar Spraying with Light-Reflecting Compounds. *Remote Sensing*, 14(23), 6153. DOI [10.3390/rs14236153](https://doi.org/10.3390/rs14236153)
- Bristow, N., Rengaraj, S., Chadwick, D.R., Kettle, J. y Jones, D.L. (2022). Development of a LoRaWAN IoT Node with Ion-Selective Electrode Soil Nitrate Sensors for Precision Agriculture. *Sensors*, 22(23), 9100. DOI [10.3390/s22239100](https://doi.org/10.3390/s22239100)
- Cota, D., Martins, J., Mamede, H. y Branco, F. (2023). BHiveSense: An Integrated Information System Architecture for Sustainable Remote Monitoring and Management of Apiaries Based on IoT and Microservices. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(3), 100110. DOI [10.1016/j.joitmc.2023.100110](https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100110)

- De Oliveira, H.F.E., de Moura Campos, H., Mesquita, M., Machado, R.L., Vale, L.S.R., Siqueira, A.P.S. y Ferrarezi, R.S. (2021). Horticultural Performance of Greenhouse Cherry Tomatoes Irrigated Automatically Based on Soil Moisture Sensor Readings. *Water*, 13(19), 2662. DOI [10.3390/w13192662](https://doi.org/10.3390/w13192662)
- Djaman, K., Mohammed, A.T. y Koudahe, K. (2023). Accuracy of Estimated Crop Evapotranspiration Using Locally Developed Crop Coefficients against Satellite-Derived Crop Evapotranspiration in a Semiarid Climate. *Agronomy-Basel*, 13(7), 1937. DOI [10.3390/agronomy13071937](https://doi.org/10.3390/agronomy13071937)
- Dutta, M., Gupta, D., Sahu, S., Limkar, S., Singh, P., Mishra, A., Kumar, M. y Mutlu, R. (2023). Evaluation of Growth Responses of Lettuce and Energy Efficiency of the Substrate and Smart Hydroponics Cropping System. *Sensors*, 23(4), 1875. DOI [10.3390/s23041875](https://doi.org/10.3390/s23041875)
- Ed-Daoudi, R., Alaoui, A., Ettaki, B. y Zerouaoui, J. (2023). A Predictive Approach to Improving Agricultural Productivity in Morocco through Crop Recommendations. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(3), 199-205. DOI [10.14569/IJACSA.2023.0140322](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140322)
- Hundal, G.S., Laux, C.M., Buckmaster, D., Sutton, M.J. y Langemeier, M. (2023). Exploring Barriers to the Adoption of Internet of Things-Based Precision Agriculture Practices. *Agriculture*, 13(1), 163. DOI [10.3390/agriculture13010163](https://doi.org/10.3390/agriculture13010163)
- Kawamura, K., Asai, H., Yasuda, T., Khanthavong, P., Soisouvanh, P. y Phongchanmixay, S. (2020). Field Phenotyping of Plant height in an Upland Rice Field in Laos Using Low-Cost Small Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Plant production science*, 23(4), 452-465. DOI [10.1080/1343943X.2020.1766362](https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1766362)
- Kazlauskas, M., Bruociene, I., Savickas, D., Naujokiene, V., Buragiene, S., Steponavicius, D., Romaneckas, K. y Sarauskis, E. (2023). Life Cycle Assessment of Winter Wheat Production Using Precision and Conventional Seeding Technologies. *Sustainability*, 15(19), 14376. DOI [10.3390/su151914376](https://doi.org/10.3390/su151914376)
- Kho, E.P., Chua, S.N.D., Lim, S.F., Lau, L.C. y Gani, M.T.N. (2022). Development of Young Sago Palm Environmental Monitoring System with Wireless Sensor Networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 193, 106723. DOI [10.1016/j.compag.2022.106723](https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106723)
- Krevh, V., Groh, J., Filipovic, L., Gerke, H.H.H., Defterdarovic, J., Thompson, S., Sraka, M., Bogunovic, I., Kovac, Z., Robinson, N., Baumgartl, T. y Filipovic, V. (2023). Soil-Water Dynamics Investigation at Agricultural Hillslope with High-Precision Weighing Lysimeters and Soil-Water Collection Systems. *Water*, 15(13), 2398. DOI [10.3390/w15132398](https://doi.org/10.3390/w15132398)
- Li, C., Hunt, D., Koenig, K., Smukler, S. y Bittman, S. (2021). Integrated Farm Management Systems to Improve Nutrient Management Using Semi-Virtual Farmlets: Agronomic Responses. *Environmental Research Communications*, 3, 075009. DOI [10.1088/2515-7620/ac13c6](https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac13c6)

- Li, Z., Chen, Z., Cheng, Q., Duan, F., Sui, R., Huang, X. y Xu, H. (2022). UAV-Based Hyperspectral and Ensemble Machine Learning for Predicting Yield in Winter Wheat. *Agronomy*, 12(1), 202. DOI [10.3390/agronomy12010202](https://doi.org/10.3390/agronomy12010202)
- Liang, X., Jin, X., Liu, J., Yin, Y., Gu, Z., Zhang, J. y Zhou, Y. (2023). Formation Mechanism and Sustainable Productivity Impacts of Non-Grain Croplands: Evidence from Sichuan Province, China. *Land Degradation and Development*, 34(4), 1120-1132. DOI [10.1002/ldr.4520](https://doi.org/10.1002/ldr.4520)
- Liu, Z., Bashir, R.N., Iqbal, S., Shahid, M.M.A., Tausif, M. y Umer, Q. (2022). Internet of Things (IoT) and Machine Learning Model of Plant Disease Prediction-Blister Blight for Tea Plant. *IEEE Access*, 10, 44934–44944. DOI [10.1109/Access.2022.3169147](https://doi.org/10.1109/Access.2022.3169147)
- Lu, J., Wang, H., Miao, Y., Zhao, L., Zhao, G., Cao, Q. y Kusnierek, K. (2022). Developing an Active Canopy Sensor-Based Integrated Precision Rice Management System for Improving Grain Yield and Quality, Nitrogen Use Efficiency, and Lodging Resistance. *Remote Sensing*, 14(10), 2440. DOI [10.3390/rs14102440](https://doi.org/10.3390/rs14102440)
- Neményi, M., Kovács, A.J., Oláh, J., Popp, J., Erdei, E., Harsányi, E., Ambrus, B., Teschner, G. y Nyéki, A. (2022). Challenges of Sustainable Agricultural Development with Special Regard to Internet of Things: Survey. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 18(1), 95-114. DOI [10.1556/446.2022.00053](https://doi.org/10.1556/446.2022.00053)
- Postolache, S., Sebastião, P., Viegas, V., Postolache, O. y Cercas, F. (2023). IoT-Based Systems for Soil Nutrients Assessment in Horticulture. *Sensors*, 23(1), 403. DOI [10.3390/s23010403](https://doi.org/10.3390/s23010403)
- Sánchez Millán, F., Ortiz, F.J., Mestre Ortuño, T.C., Frutos, A. y Martínez, V. (2023). Development of Smart Irrigation Equipment for Soilless Crops Based on the Current Most Representative Water-Demand Sensors. *Sensors*, 23(6), 3177. DOI [10.3390/s23063177](https://doi.org/10.3390/s23063177)
- Sarker, K.K., Hossain, A., Ibn Murad K.F., Biswas, S.K., Akter, F., Rannu, R.P., Moniruzzaman, M., Karim, N.N. y Timsina, J. (2019). Development and Evaluation of an Emitter with a Low-Pressure Drip-Irrigation System for Sustainable Eggplant Production. *Agriengineering*, 1(3), 376-390. DOI [10.3390/agriengineering1030028](https://doi.org/10.3390/agriengineering1030028)
- Schillaci, C., Tadiello, T., Acutis, M. y Perego, A. (2021). Reducing Topdressing N Fertilization with Variable Rates Does Not Reduce Maize Yield. *Sustainability*, 13(14), 8059. DOI [10.3390/su13148059](https://doi.org/10.3390/su13148059)
- Shah, T.M., Nasika, D.P.B. y Otterpohl, R. (2021). Plant and Weed Identifier Robot as an Agroecological Tool Using Artificial Neural Networks for Image Identification. *Agriculture-Basel*, 11(3), 222. DOI [10.3390/agriculture11030222](https://doi.org/10.3390/agriculture11030222)
- Shukla, B.K., Maurya, N. y Sharma, M. (2023). Advancements in Sensor-Based Technologies for Precision Agriculture: An Exploration of Interoperability, Analytics and Deployment Strategies. *Engineering Proceedings*, 58(1), 22. DOI [10.3390/ecsa-10-16051](https://doi.org/10.3390/ecsa-10-16051)

- Singh, N., Ajaykumar, K., Dhruw, L.K. y Choudhury, B.U. (2023). Optimization of Irrigation Timing for Sprinkler Irrigation System Using Convolutional Neural Network-Based Mobile Application for Sustainable Agriculture. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100305. DOI [10.1016/j.atech.2023.100305](https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100305)
- Terán-Chaves, C.A., Montejo-Nuñez, L., Cordero-Cordero, C. y Polo-Murcia, S.M. (2023). Water Productivity Indices of Onion (*Allium cepa*) under Drip Irrigation and Mulching in a Semi-Arid Tropical Region of Colombia. *Horticulturae*, 9(6), 632. DOI [10.3390/horticulturae9060632](https://doi.org/10.3390/horticulturae9060632)
- Thilakarathne, N.N., Bakar, M.S.A., Abas, P.E. y Yassin, H. (2023). Towards Making the Fields Talks: A Real-Time Cloud Enabled IoT Crop Management Platform for Smart Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13. DOI [10.3389/fpls.2022.1030168](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1030168)
- Torres-Sánchez, J., Escola, A., De Castro A.I., López-Granados, F., Rosell-Polo, J.R., Sebe, F., Jiménez-Brenes, F.M., Sanz, R., Gregorio, E. y Pena, J.M. (2023). Mobile Terrestrial Laser Scanner vs. UAV Photogrammetry to Estimate Woody Crop Canopy Parameters-Part 2: Comparison for Different Crops and Training Systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 212, 108083. DOI [10.1016/j.compag.2023.108083](https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108083)
- Toscano, P., Cutini, M., Filisetti, A., Premoli, E., Porcu, M., Catalano, N., Bisaglia, C. y Brambilla, M. (2022). Workability Assessment of Different Stony Soils by Soil-Planter Interface Noise and Acceleration Measurement. *AgriEngineering*, 4(4), 1139-1152. DOI [10.3390/agriengineering4040070](https://doi.org/10.3390/agriengineering4040070)
- Trenz, J., Memic, E., Batchelor, W.D. y Graeff-Hoenninger, S. (2023). Generic Optimization Approach of Soil Hydraulic Parameters for Site-Specific Model Applications. *Precision Agriculture*, 25, 654-680. DOI [10.1007/s11119-023-10087-9](https://doi.org/10.1007/s11119-023-10087-9)
- Tseng, H.H., Yang, M.D., Saminathan, R., Yu-Chun, H., Yang, C.Y. y Wu, D.H. (2022). Rice Seedling Detection in UAV Images Using Transfer Learning and Machine Learning. *Remote Sensing*, 14(12), 2837. DOI [10.3390/rs14122837](https://doi.org/10.3390/rs14122837)
- Tsiropoulos, Z., Skoubris, E., Fountas, S., Gravalos, I. y Gemtos, T. (2022). Development of an Energy Efficient and Fully Autonomous Low-Cost IoT System for Irrigation Scheduling in Water-Scarce Areas Using Different Water Sources. *Agriculture-Basel*, 12(7), 1044. DOI [10.3390/agriculture12071044](https://doi.org/10.3390/agriculture12071044)
- Turnip, A., Pebriansyah, F.R., Simarmata, T., Sihombing, P. y Joelianto, E. (2023). Design of Smart Farming Communication and Web Interface Using MQTT and Node.js. *Open Agriculture*, 8(1), 20220159. DOI [10.1515/opag-2022-0159](https://doi.org/10.1515/opag-2022-0159)
- Visentin, F., Cremasco, S., Sozzi, M., Signorini, L., Signorini, M., Marinello, F. y Muradore, R. (2023). A Mixed-Autonomous Robotic Platform for Intra-Row and Inter-Row Weed Removal for Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 214, 108270. DOI [10.1016/j.compag.2023.108270](https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108270)
- Vogel, S., Gebbers, R., Oertel, M. y Kramer, E. (2019). Evaluating Soil-Borne Causes of Biomass Variability in Grassland by Remote and Proximal Sensing. *SENSORS*, 19(20), 4593. DOI [10.3390/s19204593](https://doi.org/10.3390/s19204593)

- Waheed, H., Akram, W., Islam, S.U., Hadi, A., Boudjadar, J. y Zafar, N. (2023). A Mobile-Based System for Detecting Ginger Leaf Disorders Using Deep Learning. *Future Internet*, 15(3), 86. DOI [10.3390/fi15030086](https://doi.org/10.3390/fi15030086)
- Wakjira, K., Negera, T., Zacepins, A., Kviesis, A., Komasilovs, V., Fiedler, S., Kirchner, S., Hensel, O., Purnomo, D., Nawawi, M., Gratzer, K. y Brodschneider, R. (2021). Smart Apiculture Management Services for Developing Countries—The Case of SAMS Project in Ethiopia and Indonesia. *PeerJ Computer Science*, 7, e484. DOI [10.7717/Peerj-CS.484](https://doi.org/10.7717/Peerj-CS.484)
- Yepes-Nuñez, J.J., Urrútia, G., Romero-García, M. y Alonso-Fernández, S. (2021). *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799.
- Zeraatpisheh, M., Bakhshandeh, E., Emadi, M., Li, T. y Xu, M. (2020). Integration of PCA and Fuzzy Clustering for Delineation of Soil Management Zones and Cost-Efficiency Analysis in a Citrus Plantation. *Sustainability*, 12(14), 1-17. DOI [10.3390/su12145809](https://doi.org/10.3390/su12145809)