

ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA SU APLICACIÓN EN MÉXICO

ANALYSIS OF THE STATE OF THE ART OF PRECISION AGRICULTURE FOR ITS APPLICATION IN MEXICO

Oropeza Tosca Diana Rubí¹, Barras Baptista Alexandre², Castillo Romero Fidelio³, Guerra Que Zenaida⁴, de León de los Santos Brissa Roxana⁵

¹Doctorado en Educación. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa, Departamento de Ingeniería Química, Bioquímica y Ambiental. oropeza.dianar@gmail.com, +529931525205, carretera Villahermosa - Frontera Km 3.5, C.P. 86010, Villahermosa, Tabasco, México.

²Maestría en Planificación Urbana. Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Gestão de la Información. a.baptista@novaims.unl.pt, +351213715600, Campus de Campolide, C.P.1070-312 Lisboa, Portugal.

³Maestría en Gestión de Tecnologías de la Información. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa. Departamento de Sistemas y Computación. fidelio.cr@villahermosa.tecnm.mx, +529933530259 ext. 210, carretera Villahermosa - Frontera Km 3.5, C.P. 86010, Villahermosa, Tabasco, México

⁴Doctorado en Ciencias con Orientación en Materiales. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa, Departamento de Ingeniería Química, Bioquímica y Ambiental. zenaida.gq@villahermosa.tecnm.mx, +529933046111, carretera Villahermosa - Frontera Km 3.5, C.P. 86010, Villahermosa, Tabasco, México.

⁵Maestría en Ciencias en Planificación de Empresas y Desarrollo Regional. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa, Departamento de Ingeniería Industrial. brissa.leons@villahermosa.tecnm.mx, +529933530259 ext. 320, carretera Villahermosa - Frontera Km 3.5, C.P. 86010, Villahermosa, Tabasco, México.

Resumen -- Este artículo analiza el estado del arte de la agricultura de precisión y su aplicación en México para fortalecimiento del desarrollo agrícola del país. La metodología seguida en esta investigación consistió en tres etapas: planificación y diseño, gestión y análisis, formalización y elaboración del análisis. Como resultados se obtuvo un análisis donde se identifican tres oportunidades para ser aplicada la agricultura de precisión en México: el cambio climático, la escasez del agua y la seguridad alimentaria. La aplicación de estrategias utilizando sensores, riego de precisión, prácticas de agricultura de conservación, uso de cultivos tolerantes a la sequía, tecnologías de mejora genética, modelos de predicción climática y datos satelitales, aplicación de drones y satélites para monitoreo, promoción de educación a los agricultores, el uso de cultivos de cobertura y rotación, así como la implementación de políticas que promuevan el uso de la agricultura de precisión pueden fortalecer al campo mexicano y en general a los países en desarrollo que tengan problemas similares.

Palabras Clave: Agricultura de Precisión, Estado del Arte, México.

Abstract -- This article analyzes the state of the art of precision agriculture and its application in Mexico to strengthen the country's agricultural development. The methodology followed in this research consisted of three stages: planning and design, management and analysis, formalization and elaboration of the analysis. The results yielded an analysis where three opportunities for applying precision agriculture in Mexico were identified:

climate change, water scarcity, and food security. The application of strategies using sensors, precision irrigation, conservation agriculture practices, drought-tolerant crops, genetic improvement technologies, climate prediction models, and satellite data, as well as the use of drones and satellites for monitoring, promoting education for farmers, employing cover crops and crop rotation, and implementing policies that foster the use of precision agriculture can bolster Mexico's rural sector and developing countries facing similar challenges.

Key words – Mexico, Precision Agriculture, State of the Art.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de esta investigación, se define el estado del arte, que constituye un enfoque en la investigación documental para la exploración del conocimiento acumulado en textos en un campo específico, en este caso, agricultura de precisión. Esta metodología implica realizar un análisis meticuloso y reflexivo de la literatura científica en relación con una temática de investigación específica, lo que permite identificar las contribuciones más primordiales, los patrones emergentes y las áreas donde exista un déficit de conocimiento. El estado del arte usualmente se configura como una de las fases iniciales de un proceso investigativo, ya que brinda al investigador la oportunidad de indagar y adentrarse en el tema, aclarar las interrogantes sin respuesta y establecer fundamentos para su búsqueda o indagación. Dentro de las etapas para realizar esta investigación se considerarán:

planificación y diseño, gestión y análisis y formalización y elaboración [1].

Problema de investigación: se ocupa realizar un análisis del estado del arte de la agricultura de precisión y su aplicación en México para fortalecimiento del desarrollo agrícola del país.

Pregunta de investigación: ¿Cómo analizar el estado del arte de la agricultura de precisión mediante investigación relacionada con el tema para ser aplicado en México?

Objetivo: Analizar el estado del arte de la agricultura de precisión mediante investigación relacionada con el tema para ser aplicado en México.

La agricultura de precisión es el uso de tecnologías avanzadas que, a través de la recopilación, el análisis y el uso de datos aplicando herramientas tecnológicas ayudan a tomar decisiones para mejorar la eficiencia y productividad del campo mediante aplicación de la sostenibilidad [2].

La justificación de este proyecto se basa en que es necesario tener actualizados los conocimientos y avances sobre la agricultura de precisión dado que se actualizan constantemente. El interés por la investigación en la agricultura de precisión ha ido creciendo en los últimos años a la vez que el número de países que realizan investigación en esta área.

Según el artículo "Twenty-two years of precision agriculture: a bibliometric review" en donde se analizaron estas tendencias en artículos publicados en revistas académicas entre 1999 y 2021 utilizando un software denominado VOSviewer para realizar el análisis bibliométrico. Dentro de las áreas clave de investigación en la agricultura de precisión se encuentran: Sensores y tecnologías de captura de datos, Procesamiento de datos y análisis, Sistemas de apoyo a la toma de decisiones, Implementación y adopción de tecnologías de agricultura de precisión, entre otros [3].

DESARROLLO

Metodología.

Según Hoyos Botero, los pasos consisten en preparación, descripción, interpretación, construcción teórica global, extensión y publicación [4]. La metodología seguida en esta investigación consistió en tres etapas: 1. Planificación y diseño, 2. Gestión y análisis, 3. Formalización y elaboración [5].

Las fases del estado del arte aplicadas consisten en:

Etapa 1. Planificación y diseño. Durante la planificación y diseño se establecen los objetivos, se delimita el alcance de la investigación y se seleccionan las fuentes de información que se utilizarán según sus características si son adecuadas y coinciden con los objetivos. Se observa la necesidad de avanzar como país hacia el uso y aplicación de tecnologías avanzadas aplicándolas para el aprovechamiento del campo mexicano, para ello se hace necesaria esta revisión, para actualizar y fortalecer el conocimiento sobre dicha temática. Esta investigación consiste en revisar el estado del arte de la agricultura de precisión y su aplicación en México, se aplicarán los pasos mencionados en la metodología y se obtendrán resultados y conclusiones con el propósito de que puedan servir de base para futuras investigaciones. Las fuentes de información a consultar serán actuales, digitales en línea y de carácter científico, recientes y con una antigüedad no mayor a 5 años, es decir, entre 2018 y 2023.

Etapa 2. Gestión y análisis. En la gestión y análisis se desarrolla la búsqueda y recopilación de la información, esto se realiza de manera exhaustiva y rigurosa, seleccionando las fuentes más relevantes, analizando su contenido de manera objetiva. Se seleccionan las ideas de posibles aplicaciones de la Agricultura de Precisión para el caso específico de México. Para seleccionar las ideas se consideran: 1. Características específicas del sector agrícola mexicano, mejoras en la productividad, eficiencia y rentabilidad de cultivos, sostenibilidad de cultivos. 2. Necesidades y desafíos de los agricultores mexicanos: costos, capacitación y acceso a la tecnología. 3. Adopción de nuevas tecnologías de agricultura de precisión.

Etapa 3. Formalización y elaboración. En la formalización y elaboración se redacta el informe del estado del arte, este debe ser claro, conciso, riguroso y con calidad de acuerdo con los estándares en donde se publicará, considerando las partes de: introducción, revisión de la literatura, discusión de los resultados y conclusiones. Se diseña la propuesta de aplicaciones de agricultura de precisión para México.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados según la metodología planteada.

1. Planificación y diseño. Se consultaron sitios webs relacionados con la publicación de artículos de agricultura de precisión. Se indagó sobre artículos que pudieran presentar información relacionada con las ideas consideradas para selección de artículos.

2. Gestión y análisis. Se revisaron artículos relacionados, para ello se leyeron y analizaron de manera manual y se seleccionaron de acuerdo con las características planteadas: 1. Características específicas del sector

agrícola mexicano, mejoras en la productividad, eficiencia y rentabilidad de cultivos, sostenibilidad de cultivos. 2. Necesidades y desafíos de los agricultores mexicanos: costos, capacitación y acceso a la tecnología. 3. Adopción de nuevas tecnologías de agricultura de precisión.

3. Formalización y elaboración.

A continuación, se presenta un informe del estado del arte de la agricultura de precisión para su aplicación en México.

Características específicas del sector agrícola mexicano.

En México existe una diversidad de sistemas agrícolas: desde pequeños agricultores hasta grandes empresas agrícolas.

En México, la superficie sembrada o plantada por cultivo, según el INEGI, los cultivos anuales por Hectáreas en 2019 en orden descendente fueron: Maíz grano blanco, Frijol, Maíz grano amarillo, Sorgo grano, Trigo grano, Soya, Chile, Calabaza, Cebolla, Jitomate (Tomate rojo), Arroz y Amaranto; y en cultivos perennes fueron: Caña de azúcar, Naranja, Alfalfa, Aguacate, Limón, Mango, Plátano, Cacao, Manzana, Uva y Fresa; estos datos son arrojados a partir de la Encuesta Nacional Agropecuaria [6].

Se pueden clasificar en ocho categorías generales los sistemas de producción agrícola: Sistemas de producción agrícola con riego, sistemas de producción agrícola basados en el cultivo de arroz de tierras húmedas, sistemas de producción agrícola de secano en áreas húmedas, sistemas de producción agrícola de secano en áreas escarpadas y tierras altas, sistemas de producción agrícola de secano en áreas secas y frías con escaso potencial, sistemas de producción agrícola dual, sistemas de producción agrícola de pesca costera artesanal, sistemas de producción agrícola basados en áreas urbanas [7]

La agricultura de riego es la agricultura que no depende de las lluvias si no en donde los sistemas de producción agrícola emplean sistemas de riego para proveer de agua a las plantas suministrándolas según la necesidad, este tipo de agricultura disminuye riesgos e incrementa la rentabilidad.

La agricultura temporal depende de los temporales de lluvia para que las plantas y árboles se desarrollen y produzcan de manera adecuada, en México la mayoría de los cereales son agricultura temporal, entre los que se cuentan el maíz, el sorgo y el plátano, este tipo de agricultura se dificulta cada vez más con el cambio climático y el drástico incremento de las temperaturas en las estaciones de primavera y verano, y al no haber

suficientes lluvias pueden haber muerte de plantas y pérdidas de las cosechas [8].

La disponibilidad de agua es una gran limitante para producir alimentos en México al ser un recurso que no se cuenta de manera abundante en todas las entidades del país. Actualmente se han incrementado los eventos climatológicos extremos, tales como sequías y las inundaciones, por lo que se pretende tener sistemas de manejo y producción de alimentos más eficientes. En el mundo, las dos terceras partes del agua que se consume es utilizada para la agricultura y la ganadería. En México, el cultivo del maíz, su principal producto agrícola, depende la mitad de su producción de las lluvias. El riego en el norte del país se hace a partir de ríos, presas o del subsuelo, esta última fuente provoca el desgaste de los mantos acuíferos. El uso eficiente del agua en México es necesario para que este recurso sea aprovechado al máximo, mejorar su disponibilidad, siendo necesario implementar sistemas agrícolas eficientes y resilientes a las condiciones climáticas cambiantes [9].

Necesidades y desafíos de los agricultores mexicanos.

Existen muchas necesidades en el campo mexicano que pueden ser cubierta con la agricultura de precisión, es importante considerar que existen factores que pueden influir dentro de estas necesidades, tales como el cambio climático, la escasez del agua, la oferta-demanda internacional de alimentos y el comercio internacional. La agricultura de precisión aporta a los agricultores una forma de gestionar de manera eficiente y sostenible sus cultivos [10].

Dentro de las necesidades y desafíos del campo mexicano y en las que podrían aplicarse la agricultura de precisión están:

La escasez del agua: el uso eficiente del agua reduciría la pérdida de esta por evaporación y escorrentía. Al utilizarse sensores para determinar la humedad del suelo se ajustaría la aplicación de agua en consecuencia [11].

El cambio climático: las afectaciones que se producen debido al cambio climático en la agricultura pueden ir emporando al registrarse cada año un incremento de las temperaturas, a su vez los eventos meteorológicos extremos cada vez son más frecuentes y severos. La agricultura de precisión ayudaría a los agricultores a adaptarse al cambio climático [12], por ejemplo, utilizando riego por goteo o técnica de siembra directa se reduciría la vulnerabilidad a las sequías e inundaciones.

La seguridad alimentaria: La agricultura de precisión puede reducir el efecto ambiental de la producción agrícola al hacer más eficiente el uso de recursos tales como pesticidas, fertilizantes, agua, alimento y mano de obra, mejorando la productividad. Estos sistemas se

implementan lentamente y aún más en pequeñas granjas de baja mecanización, las cuales son mayoría en la producción agrícola mundial, estas granjas son también más comunes en las áreas del mundo en donde la seguridad alimentaria es también menor [13].

La población de México crece constantemente, esto genera una mayor demanda de alimentos, la agricultura de precisión puede ayudar a los agricultores a incrementar la productividad de sus cultivos al utilizar tecnologías como selección de semillas mejoradas o fertilización precisa.

Adopción de nuevas tecnologías de agricultura de precisión.

Los Sistemas de Navegación Satelital Global (tales como sistemas de guía y control automático de secciones) y los monitores de rendimiento en cosechadoras combinadas se han empezado a adoptar a partir del 2016 entre un 60 y 80% para los cultivos de campo en países desarrollados [10].

La agricultura de precisión puede operar a una escala pequeña, generando beneficios económicos a pequeñas plantaciones, así como ventajas para el medio ambiente, dentro de las limitaciones para implementar la agricultura de precisión se encuentran las dificultades tecnológicas, la falta de apoyo profesional o de mano de obra calificada y políticas insuficientes. El establecer programas educativos para implementar la agricultura de precisión, el compartir conocimientos, tener estándares y la capacitación sobre el uso de este tipo de tecnologías puede ser de gran aportación para los agricultores, es importante establecer políticas adecuadas, normas y leyes para agilizar la implementación de la agricultura de precisión [14].

En México se pueden aplicar estrategias de agricultura de precisión para mitigar lidiar contra el cambio climático, la seguridad alimentaria y la escasez del agua.

Se puede utilizar sensores, monitoreo in situ y en tiempo real de la calidad del suelo [15], proponer el uso de sensores inalámbricos para impactar directamente en la agroforestería [16], fomentar la aplicación en el campo de mediciones en tiempo real y explicar a los agricultores su importancia, tal como el uso de sensores electroquímicos para monitorear los cambios en el estado del crecimiento de las plantas en tiempo real [17] [18].

Se puede implementar el riego de precisión, aplicando técnicas como sistemas de riego por goteo y aspersión de bajo volumen para brindar agua directamente a las raíces de las plantas y evitar el desperdicio o evaporación, esto también puede mejorar el uso energético, mejorar los

rendimientos de producción y disminuir el impacto ambiental [19].

Se pueden adoptar prácticas de agricultura de conservación tales como siembra directa y la cobertura del suelo para mejorar la retención de agua en el suelo, disminuir la erosión y mejorar la eficiencia del riego [20] [21].

Se pueden seleccionar y utilizar cultivos tolerantes a la sequía para aumentar la productividad en condiciones de escasez de agua, por ejemplo, seleccionar variedades del maíz resistente a la sequía [22].

Pueden utilizarse Modelos de Predicción Climática y datos satelitales para predecir patrones climáticos adversos y ajustar las prácticas agrícolas acorde a estos cambios [23].

La aplicación de drones y satélites para monitorear las condiciones del suelo y del cultivo ayudaría a identificar áreas que requieran riego específico [24].

Se pueden promover el uso de cultivos de cobertura y rotación para mejorar la calidad del suelo, la captura de carbono y el uso eficiente del agua [25].

Promover educación en los agricultores sobre técnicas de precisión aplicando capacitaciones sobre el uso de tecnologías modernas (ver figura 1 referente a uso de nuevas tecnologías en el campo) para la agricultura y producción de alimentos [26] [27].

Implementar políticas que promuevan el uso de prácticas de agricultura de precisión, así como la aplicación de incentivos económicos para quienes las utilicen.

Aplicación de la nanotecnología en la agricultura de precisión.

La investigación de la nanotecnología en la agricultura aporta al desarrollo de métodos de cultivo sostenibles, con más efectividad, en la agricultura tradicional más de una tercera parte de los cultivos no son aprovechados debido al ataque de los insectos, de los microorganismos, por que ocurren desastres naturales mientras se cultiva, por la mala calidad del suelo o por baja disponibilidad de nutrientes, para ello es necesaria la aplicación de nuevas tecnologías [29].



Figura 1. Figura referente al uso de nuevas tecnologías [36]

La nanotecnología puede resultar muy provechosa si se combina con la agricultura de precisión, a continuación, se presentan algunas aplicaciones de esta que pueden relacionarse conforme avanzan las investigaciones:

Desarrollo de sensores y monitoreo. La nanotecnología puede contribuir al desarrollo de sensores más pequeños, más sensibles y económicos que puedan brindar diversos parámetros agrícolas y facilitar la toma de decisiones sobre riego, fertilización oportuna o control de plagas antes de que causen daños significativos.

Los nanosensores y su desarrollo son avances importantes para la agricultura, el monitoreo real evita el utilizar de manera excesiva los pesticidas y fertilizantes, esto contribuye a reducir la contaminación ambiental y los costos de producción, convirtiendo la agricultura tradicional en una agricultura inteligente, haciendo un uso más eficiente de la energía y promoviendo prácticas sostenibles de agricultura [30].

Los nanosensores y los métodos de nano-remediación pueden detectar y eliminar contaminantes ambientales y evitar efectos adversos sobre el medio ambiente, aunque estos riesgos de uso aún deben ser evaluados a profundidad [31].

Desarrollo de fertilizantes y pesticidas. Las nanopartículas de fertilizantes que se pueden liberar de forma controlada en el suelo pueden ayudar a reducir la pérdida de nutrientes y por tanto el impacto ambiental, estas nanopartículas pueden ser más específicas para las plantas.

La nanotecnología puede ser beneficiosa a los desafíos agrícolas, forestales y ambientales, aunque esto no implica que se esté libre de riesgos, aportando una liberación dirigida y controlada de los nano-pesticidas y los nano-fertilizantes con una mejor eficacia biológica evitando sobredosis [31].

Mejora de cultivos. La nanotecnología puede usarse para mejorar la resistencia de los cultivos a las plagas, a las enfermedades y a condiciones ambientales adversas. También puede usarse para aumentar el rendimiento y la calidad de los cultivos [32][33].

CONCLUSIONES

El maíz es un producto muy consumido por los mexicanos cuya producción puede ser beneficiada al aplicar en su cultivo técnicas de agricultura de precisión (ver figura 37 la imagen referente al maíz).



Figura 2. Imagen referente al maíz [37]

La aplicación de la nanotecnología puede apoyar a enfrentar los problemas que la agricultura presenta, tales como el cambio climático, al haber situaciones tan cambiantes de clima y de temperaturas inesperadas, los nanosensores pueden aportar con una mejor precisión de monitoreo de las condiciones del suelo, también puede aportar para conocer las infestaciones de los insectos, optimizar el uso de los recursos y minimizar los efectos ambientales [34].

El cambio climático en la agricultura impacta la manera en la que se cultiva, y la demanda de alimentos por poblaciones de todo el mundo va en aumento, las técnicas de agricultura inteligentes (Climate Smart Agriculture, CSA) pueden aportar a generar una agricultura más sostenible [12].

La agricultura contribuye al calentamiento global como una actividad antropogénica, para mitigar el cambio climático una opción puede ser el reducir las emisiones agrícolas de metano y óxido nitroso [35].

Tanto las autoridades, la sociedad y las partes interesadas pueden considerar la importancia del papel de la agricultura para lograr acuerdos y fortalecer el uso de nuevas tecnologías que eficiente el aprovechamiento de los recursos y hagan de esta una actividad más sostenible [35].



Figura 3. Imagen referente al cambio climático [38]

Futuras investigaciones pueden surgir tales como educar a los agricultores en la agricultura de precisión, mejorar la toma de decisiones sobre las tecnologías a aplicar, fomentar el uso de la agricultura de precisión promoviendo sus beneficios y creando una cultura de uso de nuevas tecnologías para las nuevas generaciones de los agricultores.

Para fomentar la cultura de uso de nuevas tecnologías y de la agricultura de precisión en México se debe considerar la inversión que esta demanda y la capacidad de los agricultores para utilizar estas nuevas tecnologías.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Villahermosa y a la Universidade Nova de Lisboa por las facilidades otorgadas para la realización de este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bedoya Cáceres, J. E., & Medina Toscano, D. F. (2018). *Estado del arte de los trabajos de grado sobre materiales educativos, en la licenciatura en diseño tecnológico del periodo comprendido del año 2006 a 2015*. Universidad Pedagógica Nacional.
- [2] Nowak, B. (2021). *Precision agriculture: Where do we stand? A review of the adoption of precision agriculture technologies on field crops farms in developed countries*. *Agricultural Research*, 10(4), 515–522. <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00539-x>
- [3] Misara, R., Verma, D., Mishra, N., Rai, S. K., & Mishra, S. (2022). *Twenty-two years of precision agriculture: a bibliometric review*. *Precision Agriculture*, 23(6), 2135–2158. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09969-1>
- [4] Hoyos Botero, C. (2000). *Un modelo para investigación documental: guía teórico-práctica sobre*

- construcción de Estados del Arte con importantes reflexiones sobre la investigación*. Señal Editora
- [5] Gómez Vargas, M., Galeano Higueta, C., & Jaramillo Muñoz, D. A. (Eds.). (2015). *El Estado Del Arte: Una Metodología De Investigación* (Vol. 6, Número 2). *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*. <https://www.redalyc.org/pdf/4978/497856275012.pdf>
- [6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s/f). *Agricultura*. Org.mx. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://sinegi.page.link/qX3F>
- [7] Castellaro, G., y Squella, F. (2006). Modelo simple de simulación para la estimación del crecimiento, fenología y balance hídrico de praderas anuales de clima Mediterráneo. *Agricultura Técnica*, 66(3), 271-282. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072006000300006>
- [8] *Tipos de agricultura en México – Celuz AGRO*. (s/f). Celuzag.mx. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://celuzag.mx/2019/10/25/tipos-de-agricultura-en-mexico/>
- [9] Ibarrola, M. J. (2021, enero 3). Los sistemas de producción agrícola requieren pronta transformación [Entrevista]. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021_184.html
- [10] Nowak, B. (2021). Precision agriculture: Where do we stand? A review of the adoption of precision agriculture technologies on field crops farms in developed countries. *Agricultural Research*, 10(4), 515–522. <https://doi.org/10.1007/s40003-021-00539-x>
- [11] Zeynoddin, M., Gumiere, S. J., & Bonakdari, H. (2023). Enhancing water use efficiency in precision irrigation: data-driven approaches for addressing data gaps in time series. *Frontiers in Water*, 5, 1237592. <https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1237592>
- [12] Aich, A., Dey, D., & Roy, A. (2022). Climate change resilient agricultural practices: A learning experience from indigenous communities over India. *PLOS Sustainability and Transformation*, 1(7), e0000022. <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000022>
- [13] Erickson, B., & Fausti, S. W. (2021). The role of precision agriculture in food security. *Agronomy Journal*, 113: 4455–4462. <https://doi.org/10.1002/agj2.20919>
- [14] Mizik, T. (2023). How can precision farming work on a small scale? A systematic literature review. *Precision Agriculture*, 24(1), 384–406. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09934-y>
- [15] Marios, S., & Georgiou, J. (2017). Precision agriculture: Challenges in sensors and electronics for real-time soil and plant monitoring. *2017 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*, 1–4.
- [16] Ramil Brick, E. S., Holland, J., Anagnostou, D. E., Brown, K., & Desmulliez, M. P. Y. (2022). A review of agroforestry, precision agriculture, and precision livestock farming—The case for a data-driven agroforestry strategy. *Frontiers in Sensors*, 3. <https://doi.org/10.3389/fsens.2022.998928>

- [17] Kim, M.-Y., & Lee, K. H. (2022). Electrochemical sensors for sustainable precision agriculture—A review. *Frontiers in chemistry*, 10. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.848320>
- [18] S. Marios and J. Georgiou, "Precision agriculture: Challenges in sensors and electronics for real-time soil and plant monitoring," 2017 *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*, Turin, Italy, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/BIOCAS.2017.8325180.
- [19] González Perea, R., Daccache, A., Rodríguez Díaz, J.A. et al. Modelling impacts of precision irrigation on crop yield and in-field water management. *Precision Agric* 19, 497–512 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9535-4>
- [20] ¿Qué es la agricultura de conservación? (s/f). Fao.org. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/what-is-conservation-agriculture/es/>
- [21] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, (s/f). *Agricultura de conservación, una práctica sustentable*. gob.mx. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/agricultura-de-conservacion-una-practica-sustentable?idiom=es>
- [22] Avendaño Arrazate, Carlos Hugo, Molina Galán, José Domingo, Moreno Pérez, Esaú del Carmen, Cadena Ñiguez, Jorge, Aguirre Medina, Juan Francisco, & Rincón Enríquez, Gabriel. (2009). Respuesta a la selección para resistencia a sequía en maíz (*Zea mays* L.). *Interciencia*, 34(11), 801-807. Recuperado en 01 de septiembre de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001100010&lng=es&tlng=es.
- [23] *Analysis and forecasting for meteorology*. (s/f). Arcgis.com. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://learn.arcgis.com/es/paths/meteorology/>
- [24] Pino V., E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia*, 37(ahead), 0–0. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292019005000402>
- [25] Fern, M. (2022, abril 18). *Cultivos de Cobertura: ¿Qué son y cómo funcionan?* Rodale Institute. <https://rodaleinstitute.org/es/blog/cultivos-de-cobertura-que-son-y-como-funcionan/>
- [26] Elijah, R. (2022, octubre 3). La Agricultura De Precisión Contra El Cambio Climático. *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/es/blog/la-agricultura-de-precision-contra-el-cambio-climatico/>
- [27] (S/f-f). Intagri.com. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://www.intagri.com/articulos/noticias/que-es-la-capacitacion-agricola>
- [28] *El camino hacia prácticas agrícolas sostenibles en América Latina y el Caribe*. (s/f). Ilica.int. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://iica.int/es/prensa/noticias/el-camino-hacia-practicas-agricolas-sostenibles-en-america-latina-y-el-caribe>
- [29] Haris, M., Hussain, T., Mohamed, H. I., Khan, A., Ansari, M. S., Tauseef, A., Khan, A. A., & Akhtar, N. (2023). Nanotechnology - A new frontier of nano-farming in agricultural and food production and its development. *The Science of the total environment*, 857(Pt 3), 159639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159639>
- [30] Chhipa, H. (2019). *Applications of nanotechnology in agriculture*. En V. Gurtler, A. S. Ball, & S. Soni (Eds.), *Methods in Microbiology* (Vol. 46, pp. 115–142). Elsevier.
- [31] Iavicoli, I., Leso, V., Beezhold, D. H., & Shvedova, A. A. (2017). *Nanotechnology in agriculture: Opportunities, toxicological implications, and occupational risks*. *Toxicology and applied pharmacology*, 329, 96–111. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2017.05.025>
- [32] Alvarez-Carvajal, Francisco, Gonzalez-Soto, Tania, Armenta-Calderón, AD, Méndez Ibarra, Rogelio, Esquer-Miranda, Edgard, Juárez, Josue, & Encinas-Basurto, David. (2020). *Silver nanoparticles coated with chitosan against Fusarium oxysporum causing the tomato wilt*. *Biocencia*, 22(3), 73-80. Epub 10 de febrero de 2021. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v22i3.952>
- [33] Ye, Y., Landa, E. N., Cantu, J. M., Hernandez-Viezcas, J. A., Nair, A. N., Lee, W.-Y., Sreenivasan, S. T., & Gardea-Torresdey, J. L. (2022). A double-edged effect of manganese-doped graphene quantum dots on salt-stressed *Capsicum annum* L. *The Science of the Total Environment*, 844(157160), 157160. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157160>
- [34] Yadav, N., Garg, V. K., Chhillar, A. K., Rana, J. S. (2023). *Recent advances in nanotechnology for the improvement of conventional agricultural systems: a review*. *Plant Nano Biol.* 4, 100032. doi: 10.1016/J.PLANA.2023.100032
- [35] Lynch, J., Cain, M., Frame, D., & Pierrehumbert, R. (2021). Agriculture’s contribution to climate change and role in mitigation is distinct from predominantly fossil CO2-emitting sectors. *Frontiers in sustainable food systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.518039>
- [36] (S/f-g). Pixabay.com. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://pixabay.com/es/photos/maquinaria-agricultor-8154964/>
- [37] (S/f-h). Pixabay.com. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://pixabay.com/es/photos/ma%C3%ADz-cosecha-comida-ma%C3%ADz-ornamental-3663086/>
- [38] (S/f-i). Pixabay.com. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://pixabay.com/es/photos/inundaci%C3%B3n-banco-del-parque-inundado-123222/>

ROLES DE CONTRIBUCIONES

Rol	Autor (es)
Redacción	Diana Rubí Oropeza Tosca

Administración del proyecto	Alexandre Barras Baptista
Supervisión	Fidelio Castillo Romero
Visualización	Zenaida Guerra Que
Recursos	Brissa Roxana de León de los Santos



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.