

Estado del Arte de las Herramientas Agrotecnológicas en el Sistema Agrícola Arrocerero

State of the Art of Agrotechnological Tools in the Rice Farming System

Recibido: 30 Septiembre de 2024

Aprobado: 19 Diciembre de 2024

Cómo citar: N. R. Díaz Leal, C. Y., Gómez Llenez, and I. G. & Valenzuela-Balcázar, "Estado del Arte de las Herramientas Agrotecnológicas en el Sistema Agrícola Arrocerero", *Mundo Fesc*, vol. 15, no. 32, pp. 113–132, May 2025, doi: 10.61799/2216-0388.1664.

Nelly Rosana Díaz-Leal*



Magister en Gerencia de Sistemas,
nellyrosanadl@ufps.edu.co,
0000-0002-0713-4832,
Grupo de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de Software-
UFPS, Cúcuta, Colombia

Claudia Yamile Gómez-Llenez²



Magíster en Gestión de Proyectos Informáticos,
claudiaygomez@ufps.edu.co,
0000-0002-8529-5869,
Grupo de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de Software-
UFPS, Cúcuta, Colombia

Ibonne Geaneth Valenzuela-Balcázar³



Ph.D en Tecnología y Modelización en Ingeniería civil, minera y
ambiental,
ibonnegeanethvb@ufps.edu.co,
0000-0002-1173-3133,
Grupo de Investigación Ambiente y Vida-UFPS, Cúcuta,
Colombia

***Autor para correspondencia:**

nellyrosanadl@ufps.edu.co



Estado del Arte de las Herramientas Agrotecnológicas en el Sistema Agrícola Arrocero

Resumen

El artículo explora el uso de herramientas agrotecnológicas para el manejo sostenible del suelo en el sector agrícola arrocerero, destacando la relevancia del arroz como alimento básico para más de un tercio de la población mundial, con uno de los mayores consumidores de arroz en América Latina. A través de una revisión descriptiva, se recopila información del estado del arte sobre tecnologías que optimizan la producción de arroz y promueven prácticas sostenibles en el uso del suelo. Utilizando el marco PICOP (Population, Intervention, Comparison, Outcome, and Context) para definir términos de búsqueda y seleccionar publicaciones relevantes desde 2016, se excluyen tesis y publicaciones web, y se recurre a bases científicas como, Scopus, Web of Science y Google Scholar, aplicando combinaciones específicas de términos relacionados con la gestión del suelo y la tecnología agrícola. Los resultados abordan la necesidad de automatización en la agricultura para mejorar la eficiencia en la producción y la salud fitosanitaria. Destacando tecnologías avanzadas y software que permiten a los agricultores tomar decisiones informadas sobre el manejo del suelo y la nutrición de los cultivos. Entre las soluciones digitales más desarrolladas se incluyen la robótica, el Internet de las Cosas (IoT), GPS, GIS y el aprendizaje automático (Machine Learning), además de software especializado que proporciona planes nutricionales y recomendaciones de fertilización basadas en análisis detallados del suelo. El artículo enfatiza cómo la integración de la tecnología en la agricultura no solo aumenta la productividad y la rentabilidad, sino que también apoya la sostenibilidad ambiental. Concluye destacando la importancia de continuar evaluando y optimizando estas tecnologías para hacerlas accesibles y económicamente viables para los agricultores, especialmente en regiones en desarrollo, destacando la necesidad de seguir adaptando y mejorando estas herramientas para maximizar sus beneficios en la agricultura global.

Palabras clave: Agrotecnología, Automatización agrícola, Manejo del suelo, Sostenibilidad

State of the Art of Agrotechnological Tools in the Rice Farming System

Keywords: Agrotechnology, Agricultural automation; Soil management, Sustainability

Abstract

The article explores the use of agrotechnological tools for sustainable soil management in the rice agricultural sector, highlighting the relevance of rice as a staple food for more than one third of the world's population, with one of the largest rice consumers in Latin America. Through a descriptive review, state-of-the-art information on technologies that optimize rice production and promote sustainable land use practices is compiled. Using the PICOP (Population, Intervention, Comparison, Outcome, and Context) framework to define search terms and select relevant publications since 2016, theses and web publications are excluded, and scientific databases such as, Scopus, Web of Science and Google Scholar are resorted to, applying specific combinations of terms related to soil management and agricultural technology. The results address the need for automation in agriculture to improve production efficiency and plant health. Highlighting advanced technologies and software that enable farmers to make informed decisions about soil management and crop nutrition. The most developed digital solutions include robotics, the Internet of Things (IoT), GPS, GIS and Machine Learning, as well as specialized software that provides nutritional plans and fertilization recommendations based on detailed analysis of the soil and crop health. The most developed digital solutions include robotics, the Internet of Things (IoT), GPS, GIS and Machine Learning, as well as specialized software that provides nutritional plans and fertilization recommendations based on detailed soil analysis. The article emphasizes how the integration of technology in agriculture not only increases productivity and profitability, but also supports environmental sustainability. It concludes by highlighting the importance of continuing to evaluate and optimize these technologies to make them accessible and economically viable for farmers, especially in developing regions, emphasizing the need to continue adapting and improving these tools to maximize their benefits in global agriculture.

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es el segundo cereal más consumido a nivel mundial, después del trigo, y posee una importancia significativa debido a su cultivo en 113 países de todos los continentes, excepto en la Antártida. Este cereal es fundamental en la dieta de más de un tercio de la población mundial. En los países de América Latina se tiene un consumo per cápita de 60 kg de arroz aproximadamente al año y esto conlleva a una demanda nacional de 450 mil toneladas [1].

En Colombia siendo un país con una economía agrícola predominante y un alto nivel competitivo se enfrenta a los desafíos de la globalización más que todo a través de los acuerdos comerciales internacionales. Estos acuerdos han desencadenado factores positivos relacionados con inversiones significativas en ciencia y tecnología para responder a las necesidades del mercado global con unos procesos agrícolas óptimos. Por tanto, es necesario realizar una revisión bibliográfica rigurosa sobre las herramientas tecnológicas disponibles para la incorporación de este mejoramiento y poder evaluar aspectos cómo la viabilidad y la eficacia de la digitalización en nuestro país. Esta revisión suministra una base sólida para orientar las decisiones de financiamiento en tecnologías que conduzcan hacia un desarrollo sostenible del sector agrícola en Colombia [2].

El propósito de este proyecto es recabar información sobre las herramientas agrotecnológicas para el manejo sostenible del suelo en el sector arrocero aplicando una revisión bibliográfica descriptiva [3], la cual permitirá un panorama claro de la literatura disponible que resalte los hallazgos más sobresalientes sobre la temática y encontrar los vacíos del saber para el desarrollo de futuros estudios. Este artículo pretende ofrecer un análisis de los sistemas digitales utilizados y aplicados en el proceso agrícola, tanto a nivel nacional como internacional, y además, proporcionar algunas recomendaciones importantes. La estructura del artículo se compone de los siguientes elementos a desarrollar: introducción, metodología aplicada, resultados y la discusión sobre las herramientas digitales, y finalmente, la presentación de los hallazgos principales de la revisión.

Materiales y Métodos

Los procesos metodológicos utilizados para esta revisión del estado del arte se inspiraron utilizando las metodologías PICOP [4] y PRISMA [5]. La elección de PRISMA y PICOP se sustenta en su reconocimiento como metodologías estandarizadas para realizar revisiones sistemáticas [6]. PRISMA, establecida por [5], ofrece un marco estructurado que garantiza una documentación exhaustiva de cada etapa, promoviendo la transparencia y reproducibilidad del estudio. Por otro lado, el método PICOP permite definir claramente los términos clave de búsqueda, adaptándose específicamente a los objetivos de la investigación, y asegurando que las búsquedas sean pertinentes. La aplicación conjunta de estas metodologías asegura la rigurosidad y validez de los hallazgos en el análisis de

este artículo.

Se especifican parámetros definidos de elegibilidad y descarte, los cuales son esenciales para garantizar la relevancia de los estudios seleccionados. En este proceso se identifican los repositorios de datos científicos apropiados y buscadores especializados acordes con el campo de estudio. Se establecieron cadenas de búsqueda para cada pregunta de investigación, obteniendo publicaciones relevantes y acorde a las preguntas de investigación [7]. Se consideraron dos aspectos para evaluar los trabajos: la revisión de cada artículo por título y resumen, y la lectura del texto completo. Finalmente, se presenta una síntesis preliminar de las publicaciones que pasaron el segundo filtro y cumplieron con los parámetros de elegibilidad definidos para el estudio. A continuación, se detalla cada paso de la metodología.

En la Tabla I se presentan los criterios de inclusión (CI) utilizados en la revisión del estado del arte que garantizan la relevancia y calidad de las publicaciones seleccionadas.

Tabla I. Criterios de Inclusión

Criterio	Descripción
CI-1	Inclusión de publicaciones con títulos relacionados con herramientas agrotecnológicas para la gestión sostenible del suelo
CI-2	Inclusión de publicaciones en inglés y español
CI-3	Inclusión de publicaciones del 2016 en adelante
CI-4	Inclusión solo artículos de revistas y revisiones de literatura

La Tabla II presenta los criterios de exclusión (CE) utilizados en la revisión del estado del arte que garantizan la relevancia y calidad de las publicaciones seleccionadas.

Tabla II. Criterios de Exclusión

Criterio	Descripción
CE-1	Exclusión de publicaciones difundidas en sitios web
CE-2	Exclusión de paper de conferencias, libros y tesis
CE-3	Exclusión de publicaciones que no tengan texto completo

Las fuentes de datos incluyen las bases de datos científicas Scopus y Web Of Science, reconocidas por su alto impacto internacional, así como Google Scholar, utilizado como motor de búsqueda académico.

Se realizaron dos actividades fundamentales: 1) definición de los términos de búsqueda y 2) definición de la cadena de búsqueda de acuerdo con lo que se quiere investigar.

1. *Definición de términos de búsqueda:* En este proceso de búsqueda, los términos se clasificaron utilizando el método PICOP, basado en la descripción de cinco elementos clave alineados a la pregunta de investigación: Población, Intervención, Comparación, Resultado y Contexto. El elemento de comparación del método PICOP se omitió porque

no aplica al objeto de estudio en la revisión sistemática de la literatura la Tabla III muestra los elementos de la PICOP para definir los términos primario y secundario.

Tabla III. Palabras claves o grupos de términos

Elementos PICOP	Términos Primarios	Términos Secundarios
Población	Rice	Rice Farmer, Rice Seeder
Intervención	Soil Management	Soil Treatment, Soil Use
Comparación	Not Applicable	Not Applicable
Resultado	Technology	System, Software, Precision Agriculture, IoT, Drones, Sensors, Big Data, Artificial Intelligence, industry 4.0, agriculture 4.0
Contexto	Rice industry	Rice sector

Cada término de búsqueda principal o primario permite describir una categoría general de términos de búsqueda. La descripción de cada categoría general se presenta en la Tabla IV.

Tabla IV. Categorías generales de términos de búsqueda.

ID	Categoría General	Descripción
C1	Rice Planters	Términos relacionados con cultivadores de arroz
C2	Soil Management	Instrumentos o medios que permiten mejorar el uso del suelo en la siembra del arroz
C3	Technology Tool	Términos relacionados a las tecnologías usadas
C4	Rice industry	Términos del campo de Desarrollo, o sector de investigación intervenido, en este caso el sector arrocero

2. Planteamiento de la estrategia de búsqueda: El conjunto de palabras clave se definió de acuerdo con la pregunta de investigación del estudio, la cual es la unión e intersección de categorías y subcategorías (utilizando los operadores lógicos "OR" y "AND"), como se muestra en la Tabla V.

Tabla V. Cadenas de búsqueda, pregunta de investigación y enfoque

Pregunta de investigación	Descripción	Cadena de Búsqueda	Enfoque
Q1	¿Qué aplicaciones de software se han usado para el manejo sostenible del suelo en el cultivo de arroz?	"Rice" AND ("Soil Management" OR "Soil Treatment" OR "Soil Use") AND ("Technology" OR "System" OR "Software" OR "Precision Agriculture" OR "IoT" OR "Drones" OR "Sensors" OR "Big Data" OR "Artificial Intelligence" OR "industry 4.0" OR "agriculture 4.0")	Sustainable Technological Agriculture

Al final, el proceso de selección de publicaciones científicas (incluidos artículos y revisiones de literatura) se lleva a cabo en tres fases, inspiradas en la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), establecida para orientar a los autores de revisiones sistemáticas a documentar transparentemente los procesos y hallazgos de sus investigaciones. Estas fases incluyen la identificación y el filtrado de las publicaciones en la Fase 1, la elegibilidad de las publicaciones en la Fase 2, y la selección de las publicaciones relevantes en la Fase 3. El proceso garantiza una

revisión rigurosa de todas las publicaciones pertinentes.

1. Identificación preliminar de publicaciones: Se utiliza la cadena de búsqueda para la pregunta de investigación en los bancos de información y buscadores científicos seleccionados. Luego, se filtran los resultados según los parámetros de elegibilidad y descarte, lo que define la lista de publicaciones científicas para la siguiente fase.
2. Elección por lectura de título y resumen: Se realiza una selección inicial de estudios basada en la lectura del título y el resumen de las publicaciones obtenidas en la Fase I, para identificar aquellos estudios que sean relevantes y cumplan con los criterios establecidos para la revisión del estado del arte.
3. Selección por lectura del texto completo: En esta fase se leyeron los documentos a texto completo y se recuperaron para su análisis aquellos que cumplieran los criterios de calidad que correspondan a artículos científicos y revisiones que presenten tecnologías y software que se ha usado para el manejo del cultivo del arroz

En Figura 1 se presenta un resumen de la cantidad de publicaciones encontradas por año en los repositorios de datos de rigor científico Scopus y Web of Science (WoS) sobre la temática analizada luego de la revisión con la aplicación metodológica ya descrita, con un total de 204 artículos en Scopus y 99 en WoS. Se observa un incremento de la productividad científica a partir del 2021, lo cual puede entenderse como un mayor interés en el uso de las tecnologías para el manejo del suelo en los cultivos de arroz. Lo anterior impulsado por la necesidad de la optimización agrícola ante los retos mundiales como el acceso a los alimentos y la mitigación del calentamiento global, también por el impacto de la pandemia, que aumenta la adopción de herramientas innovadoras para la sostenibilidad agrícola.

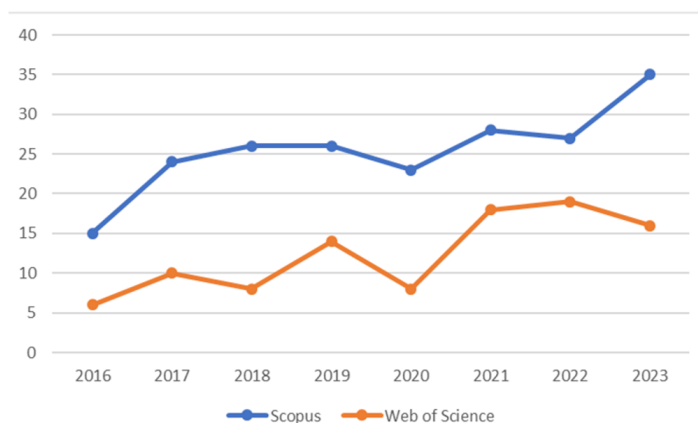


Figura 1. Productividad científica por año (Scopus y WoS)

Complementando la revisión de la literatura, para discernir los patrones en las publicaciones y analizar la evolución de la temática en cuestión, se llevó a cabo una evaluación bibliométrica utilizando el software Bibliometrix. Este análisis tuvo como objetivo principal examinar las publicaciones obtenidas en los repositorios científicos:

Scopus y Web of Science (WoS).

De acuerdo con la bibliometría realizada en Scopus (ver Figura 2), la tasa anual de crecimiento de la temática es 12.87 %, mientras que en Web of Science (WOS) es del 15.04%; ambas muy cercanas al crecimiento promedio anual de la producción científica en Colombia que ha sido del 13% en los últimos años. A nivel global, en 2019, la producción editorial científica oscila en un 21%, lo que significa un creciente interés, tanto nacional como internacional, en las tecnologías para el manejo y tratamiento del suelo en el sector agrícola.



Figura 2. Indicadores Colección Scopus

Mediante el uso del software Bibliometrix, se generaron diversos informes que permitieron analizar la estructura conceptual del campo, observar la evolución de las temáticas relevantes y evaluar la producción científica a nivel global.

En particular, la evolución de los temas, ilustrada en la Figura 3, refleja un avance significativo en la incorporación de conceptos relacionados con el arroz y el suelo. Así, en 2020 se puede identificar un punto de inflexión hacia la integración del desarrollo sostenible del suelo, y para 2023, la orientación principal se centra en el manejo y tratamiento del suelo, con un énfasis creciente en prácticas agrícolas alternativas.

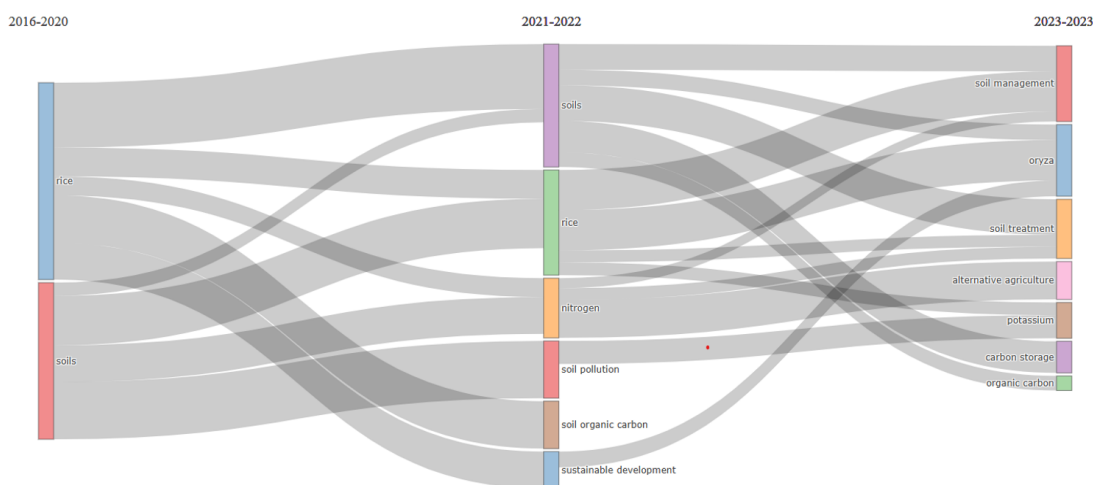


Figura 3. Evolución temática colección Scopus

La Figura 4 revela un aumento en la producción científica relacionada con los cultivos, encabezado por China y Brasil. En el caso de China, este crecimiento refleja un interés en la investigación agrícola, motivado por la necesidad de optimizar procesos para satisfacer su alta demanda interna. Brasil, aunque con un ritmo de crecimiento más moderado, mantiene un enfoque estratégico en la innovación agrícola, respaldado por su papel como importante exportador de productos agrícolas. Países como India muestran un incremento notable pero más gradual, mientras que Estados Unidos y Bangladesh presentan aumentos modestos. En general, la tendencia en la producción científica parece estar estrechamente relacionada con la relevancia económica y estratégica de los cultivos en cada nación.

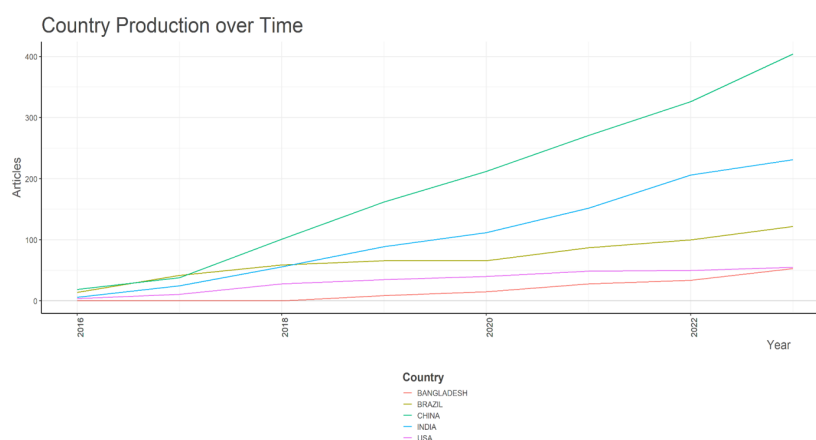


Figura 4. Producción científica por países

Resultados y Discusión

Tecnología en la Agricultura

La evolución que ha tenido la agricultura en la utilización de herramientas tecnológicas resalta la importancia que tiene la tecnología en la generación de competitividad en la producción y comercialización agrícola tanto en el mercado local y nacional [8]–[13].

[14]–[20] analizan la necesidad de automatización de la cadena agroindustrial con el objetivo de cubrir el incremento de la demanda alimentaria y mejorar tanto la vigilancia fitosanitaria como el uso eficiente de plaguicidas. Los autores enfatizan el papel de la robótica, la supervisión en tiempo real del bienestar de las plantas y los factores ambientales, así como la aplicación de pesticidas basados en el estado específico de las plantas. En este sentido [21] refiere que los primeros robots agrícolas comercializados ejecutan funciones esenciales como erradicación de malezas, monitoreo de plagas y la cosecha de cultivos especializados. Así mismo, [22] describe el diseño y evaluación de una red de sensores inalámbricos basada en la norma IEEE 802.15.4, aplicada en la agricultura de precisión, desarrollada en colaboración de ingenieros e investigadores

agrónomos. [27], en su trabajo facilita la detección de enfermedades en cultivos de arroz mediante agricultura de precisión con drones. Identificando áreas específicas afectadas con sensores de color, permitiendo la aplicación localizada de químicos, este enfoque elimina la necesidad de tratar todo el cultivo, reduciendo costos, contaminación del suelo [23], [24] y problemas como la eutrofización [25],[26] y a la vez mejora la calidad de los alimentos [27].

Estas tecnologías no solo mejoran la eficiencia en la producción de cultivos, permitiendo intervenciones oportunas y optimizando el uso de recursos, sino que también reducen la dependencia del trabajo manual, que suele ser costoso y demandante. La automatización promueve métodos agrícolas precisos como como la pulverización adaptativa de pesticidas, lo que incrementa la productividad, reduce costos y fomenta las prácticas sostenibles. Como proyección futura, [14] proponen continuar evaluando y optimizando la escalabilidad y rentabilidad de los sistemas de agricultura de precisión propuestos, con el objetivo de garantizar su viabilidad y accesibilidad, especialmente en regiones en desarrollo. [28] En muchos países en desarrollo, el sector de maquinaria y motores de tamaño pequeño ha crecido significativamente en las últimas décadas, consolidándose cómo base para el surgimiento de una industria local de equipos autónomos

[29] sugieren un sistema destinado a mejorar la producción de cultivos proporcionando a los agricultores información sobre sus condiciones edafológicas y ambientales, facilitando la toma de decisiones con datos suficientes sobre el uso de fertilizantes y la selección de cultivos. El artículo indica la importancia de un análisis adecuado del suelo, así como el conocimiento de las condiciones ambientales para garantizar el éxito de la producción de los cultivos. Podrían llevarse a cabo más investigaciones con el fin de explorar la integración de factores ambientales adicionales, tales como la intensidad de la luz y la humedad, en el sistema de recomendación de cultivos. El rendimiento de diferentes algoritmos de aprendizaje automático puede compararse para identificar el clasificador más preciso y eficiente para la recomendación de cultivos.

[30] mencionan la importancia de la tecnología moderna en la agricultura, proponiendo una técnica de agricultura inteligente que utiliza el módulo GPS y las tecnologías IoT para determinar la naturaleza del suelo, así como el tipo y la cantidad de pesticidas y fertilizantes que deben utilizarse de una manera eficiente. Los resultados del estudio demuestran que los modelos de aprendizaje automático, incluidos los algoritmos Naive Bayesian, Linear Support Vector Classification y K Nearest Neighbour, pueden predecir eficazmente el tipo adecuado de fertilizante que se debe utilizar. Lo cual no solo reduce el desperdicio, sino que también permite ahorrar costos a los agricultores. Futuras investigaciones podrían incluir la integración de la tecnología IoT para obtener datos precisos utilizando un módulo GPS y transmitir las predicciones de fertilizantes a los agricultores a través de la nube, así como el uso potencial de la tecnología blockchain con el fin de aumentar la optimización y la eficiencia en la agricultura.

[31] proponen una plataforma de asistencia decisonal para optimizar el rendimiento de los cultivos en función del nitrógeno y el fósforo, centrándose en los cultivos de maíz,

arroz y trigo en varias regiones de Karnataka. El artículo realiza una comparación de varios algoritmos de clasificación para la previsión del rendimiento de los cultivos, como SVM, Random Forest, redes neuronales, RepTree y bagging. En específico el algoritmo bagging supera a los demás, demostrando una desviación de error y un error medio absoluto mínimos. El modelo de memoria a largo plazo (LSTM) propuesto en este artículo indica resultados prometedores para la previsión del rendimiento de los cultivos, pero no aborda los posibles retos o limitaciones de la aplicación y ampliación de este modelo en entornos agrícolas del mundo real. El artículo no ofrece un análisis exhaustivo de la viabilidad económica y las implicaciones prácticas de la aplicación del módulo de soporte para la toma de decisiones propuesto a los agricultores. Por lo tanto, en el futuro será útil para el agricultor, ya que podrá aumentar su producción y obtener más rendimiento suministrando la cantidad adecuada de nutrientes

[32] analizan modelos de difusión de información basados en TIC, diseñados para unir sinergias de saberes y actividades empíricas en el uso de tecnologías emergentes en la difusión de información agrícola. Estos modelos buscan mejorar la productividad y promover la sostenibilidad económica, social y ambiental entre los agricultores y las comunidades agrícolas.

La incorporación de las TIC para automatizar procesos agrícolas junto con la asistencia técnica, permite incrementar la rentabilidad y la productividad, adaptar mejor productos y servicios a las necesidades del sector y ampliar sus oportunidades de desarrollo [33].

Sistemas de Información para Procesos Agrícolas

[34] define un sistema de información agrícola como una plataforma diseñada para generar, transformar, consolidar, recibir y retroalimentar información agrícola, con el objetivo de facilitar a los productores el empleo de los conocimientos en sus procesos. A continuación, se presentan los aportes de diversos autores en el desarrollo de tecnologías digitales destinadas a respaldar y optimizar los procesos agrícolas.

[33] presenta una plataforma digital agrícola basada en tecnologías web y móviles que facilita la gestión comercial de los productos entre organizaciones productoras y consumidoras, contribuyendo así a equilibrar la oferta y la demanda.

Según [35], empresas que desarrollan sistemas de información agrícola, están creando plataformas informáticas dirigidas a optimizar el proceso de producción, mejorar la obtención de información y apoyar la logística. Sin embargo, debido a sus elevados costos y al soporte técnico que se brinda desde el extranjero, estas soluciones son accesibles principalmente para grandes productores agrícolas, limitando su adopción en sectores más pequeños.

[36] presenta en su artículo varias aplicaciones relacionadas con el control de cultivos una de ellas es una aplicación móvil que permite realizar diferentes tareas relacionadas con el control de cultivos. Algunas de estas tareas son la generación de informes sobre las

labores agrícolas, el cumplimiento del cuaderno de campo y el aumento de la rentabilidad a través del control de costos.

Por otro lado, el uso de análisis basados en técnicas de Machine Learning (ML) pueden lograr soluciones fiables y de bajo costo para la estimación precisa del suelo en la agricultura [37],[38]. [39] desarrollaron un método para evaluar el secado del suelo mediante datos de evapotranspiración y precipitación, facilitando la toma de decisiones a distancia. [40] desarrollaron para la predicción del estado del suelo con modelos de regresión para predecir carbono orgánico, contenido de humedad y nitrógeno total, demostrando cómo estas predicciones pueden mejorar la gestión del suelo. [41], utilizaron un modelo auto adaptativo de ML evolutivo-extremo y datos meteorológicos diarios para estimar con precisión la temperatura del suelo a diferentes profundidades en regiones climáticamente diversas. [42] propusieron un método innovador para estimar la humedad del suelo usando sensores de fuerza en un abridor de cinceles. Dichos estudios indican el impacto del ML en la agricultura sostenible y de precisión.

En Colombia, algunas casas de software han desarrollado proyectos para apoyar la agricultura, enfocándose principalmente en gestionar la información de fincas pequeñas y sencillas. Sin embargo, las necesidades de los productores requieren mucho más de la optimización de los procesos agrícolas, en la búsqueda de soluciones que también mejoren la eficiencia, sostenibilidad y productividad a una mayor escala [35].

[43]-[45] destacan que los sistemas desarrollados para el sector agrícola, independientemente de su alcance o tecnología utilizada, tienden a generar un "círculo virtuoso" entre tecnología, procesos y personas cuando su diseño e implementación son respaldados y acompañados por las máximas autoridades. Este enfoque asegura que los sistemas sean confiables y factibles para la toma de decisiones. Además, enfatizan que el uso de las TIC permite revisar y optimizar procesos, estandarizar definiciones de datos, asignar responsabilidades claras a cada actor, y garantizar que todos los involucrados tengan igual acceso para consultar e informar información, promoviendo así una gestión más eficiente y colaborativa.

En conjunto, los aportes de los investigadores muestran el papel destacado de los sistemas de información, como software especializado y el Machine Learning, en la modernización y optimización de los procesos agrícolas.

Soluciones Digitales en Gestión de Suelos

La agricultura se ha visto en la necesidad del uso de software para producir en gran escala y mejorar sus procesos de cosecha, recolección y distribución de productos agrícolas provenientes del campo, es por esta razón que la agricultura nacional e internacional se apoya en la tecnología y las diferentes herramientas que podemos hallar en el mercado virtual.

[46], [47] proponen un sistema para el control temprano de las plagas y afecciones vegetales que podrían afectar los cultivos. Dicho sistema utiliza el algoritmo de clasificación SVM (Support vector machine) combinado con técnicas de árbol de decisión regresión logística. Dicha propuesta sugiere un sistema de cultivo mucho más adecuado para el agricultor, identificando plagas potenciales que lo puedan afectar, así mismo, sugiere técnicas específicas para su control, optimizando procesos agrícolas e incrementando la eficacia del manejo fitosanitario.

[48] desarrollaron un modelo para evaluar la fertilidad del suelo, utilizando datos obtenidos de sensores. El modelo proporciona al agricultor recomendaciones sobre el cultivo más adecuado para sembrar, el tipo y la cantidad de fertilizante necesario para mejorar la productividad. De este modo, le permite al agricultor un análisis de manera precisa sobre la fertilidad de su terreno y podría tomar decisiones informadas maximizando la productividad y los beneficios de sus cultivos.

[49], [50] destacan un sistema diseñado para productores de arroz, cuyo objetivo es optimizar en el control de la fertilización y nutrición en lotes de cultivo de arroz. El sistema indica un plan nutricional con recomendaciones precisas para el tratamiento adecuado del suelo. Para su utilización se hace necesario contar con los datos del lote, análisis del suelo, toma de las muestras que permitan realizar cálculos sobre los requerimientos nutricionales de las plantas. Entre las principales ventajas del software se tienen el almacenamiento de las recomendaciones realizadas y la capacidad para registrar información georreferenciada de los datos analizados, lo cual facilita un seguimiento mucho más eficiente y personalizado.

[51] destaca sistemas de información que por su utilidad en el análisis de Modelos Digitales de Superficie (DSM) y la gestión de datos en capas ráster y vectoriales, aunque se limitan a la información de la capa superficial del suelo, representan un avance hacia la integración con recursos biofísicos como el clima, la cobertura del suelo y los cuerpos de agua. Así mismo, indica una solución práctica y gratuita, permitiendo a los usuarios sin conocimientos especializados obtener dimensiones y estimativos económicos de equipos más eficientes y utilizando datos básicos de sus cultivos mediante una interfaz intuitiva.

[52] proponen el desarrollo de un modelo de predicción de rendimiento de arroz en condiciones productivas, considerando factores relacionados con el manejo del cultivo y las tendencias temporales. El objetivo es identificar las variables clave que determinan el rendimiento y evaluar su importancia relativa en la capacidad predictiva del modelo. También, se busca utilizar los datos generados rutinariamente, garantizando predicciones objetivas, insesgadas y libres de criterios subjetivos, lo que optimiza la precisión y aplicabilidad del modelo.

[53] indica que, en el sistema agroalimentario colombiano, es fundamental para investigaciones futuras el estudio del impacto de los desarrollos tecnológicos en materia

de reducción de las brechas digitales en la agricultura. Permitiendo identificar posibles limitaciones en su adopción y uso, así como diseñar estrategias efectivas de alfabetización digital con el propósito de lograr una integración más eficiente de dichas tecnologías en el sector.

Acorde a las diferentes posturas de los autores analizados [46]-[52], el diseño de software para la gestión de la fertilidad del suelo debe combinar tecnologías avanzadas, análisis de datos, herramientas geoespaciales y dispositivos IoT, para optimizar prácticas agrícolas y facilitar la toma de decisiones. Este software debe integrar datos de pruebas de suelo, requerimientos nutricionales específicos de cultivos, variables ambientales (clima, agua) y análisis en tiempo real para monitorear parámetros clave como pH, nitrógeno, fósforo y potasio. A su vez, mediante algoritmos de aprendizaje automático, mejorar las predicciones a largo plazo sobre el impacto de las prácticas agrícolas en la salud del suelo.

El sistema debe ser de fácil acceso, con compatibilidad multiplataforma (móvil y web), soporte multilingüe y un diseño centrado en el usuario que incluya paneles intuitivos y visualizaciones interactivas, asegurando su utilidad para usuarios con diversos niveles técnicos. La integración con bases de datos locales y el cumplimiento de normativas regionales que garanticen su precisión y relevancia. Para promover su uso, los marcos de código abierto pueden hacer la tecnología accesible para pequeños agricultores y fomentar la innovación colaborativa.

Finalmente, el uso de software para la gestión del suelo se ha convertido en esencial para la agricultura moderna, permitiendo a los agricultores, agrónomos y administradores de tierras optimizar la salud del suelo, mejorando la productividad y promoviendo la sostenibilidad.

Conclusiones

El estado del arte muestra un rango amplio de herramientas tecnológicas, desde aplicaciones móviles, que facilitan la gestión y el control de cultivos, hasta sistemas diseñados para reducir las brechas entre oferta y demanda. Dichas innovaciones han transformado la forma en que los agricultores gestionan sus operaciones. Sin embargo, la accesibilidad sigue siendo un desafío, ya que muchas soluciones están dirigidas a grandes productores debido a sus costos elevados y la dependencia del soporte técnico internacional. En contraste, tecnologías como el Machine Learning (ML) están revolucionando el sector al permitir predicciones precisas y de bajo costo sobre propiedades del suelo. Esto no solo potencia prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes, también responde a la creciente demanda de alimentos y mejora la vigilancia fitosanitaria y el uso racional de plaguicidas.

Se proponen sistemas orientados a mejorar la producción de cultivos y fomentar el uso sostenible del suelo, que buscan proporcionar a los agricultores información detallada sobre las condiciones edafológicas y ambientales de sus plantaciones, facilitando así la

toma de decisiones soportada con datos y optimizando los procesos.

En el caso colombiano, se están desarrollando iniciativas que representan un enfoque inicial hacia la digitalización agrícola, con énfasis en la gestión del suelo, optimizando la productividad y garantizando la sostenibilidad ambiental. Aunque todavía existe un gran potencial para ampliar estas soluciones hacia sistemas más integrales que aborden las complejidades de la agricultura moderna a nivel nacional, incorporando tecnologías avanzadas como el análisis de datos, IoT y ML. Dichas herramientas permiten a las partes interesadas tomar decisiones informadas, mantener la salud del suelo y asegurar el éxito sostenible de la agricultura a largo plazo.

Referencias

- [1] Statista, "Consumo de arroz en América Latina y el Caribe en 2023, por país," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/1479482/consumo-de-arroz-latinoamerica-caribe/>.
- [2] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, "Agricultura de Precisión," 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.minagricultura.gov.co/servicios/Documents/Agricultura-de-Precision.pdf>.
- [3] SJA Guirao Goris, "Utilidad y tipos de revisión de literatura," *Ene*, vol. 9, núm. 2, págs. 0-0, 2015
- [4] J. Hevia, Á. Huete, S. Alfaro, y V. Palominos, "Herramientas útiles y métodos de búsqueda bibliográfica en PubMed: guía paso a paso para médicos," *Revista médica de Chile*, vol. 145, no. 12, pp. 1610–1618, 2017. <http://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872017001201610>
- [5] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, D. G. Altman, y PRISMA Group, "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement," *Annals of Internal Medicine*, vol. 151, no. 4, pp. 264–269, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2010.02.007>
- [6] C. Gómez, P. Vallejo, and J. Aguilar, "A Systematic Literature Review on Serious Games Methodologies for Training in the Mining Sector," *Information (Switzerland)*, vol. 16, no. 5. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), May 01, 2025, doi: 10.3390/info16050389.
- [7] R. M. Ureta and R. T. Díaz, "La alfabetización visual en la formación de docentes: revisión sistemática según las directrices PRISMA 2020," *Runae*, no. 8, 2023.
- [8] L.K.CarpioSantos, "El uso de la tecnología en la agricultura," *ProSci.Rev.Prod.Ciencias e Investig.*, vol. 2, no. 14, 2018, doi: 10.29018/issn.2588-1000vol2iss14.2018pp25-32. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol2iss14.2018pp25-32>

- [9] C. López Gálvez, "Uso de drones, un caso de tecnología avanzada en la agricultura," *Adm. y Tecnol. para el diseño.*, no. 16, 2016. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11191/9185>
- [10] A. Pérez, M. Milla, and M. Mesa, "Impacto de las tecnologías de la información y la comunicación en la agricultura," *Cultivos Tropicales*, vol. 27, no. 1, pp. 11–17, 2006. Disponible en: <https://www.usmp.edu.pe/campus/pdf/revista29/articulo10.pdf>
- [11] A. Zúñiga Orozco, "Tecnología CRISPR-Cas9: una herramienta aplicable en la agricultura de Costa Rica," *Repert. Científico*, vol. 20, no. 2, 2018, doi: 10.22458/rc.v20i2.2396.
- [12] C. Idaris, C. Mil, A. Fern, C. Fabre, and D. Gonz, "Software evaluación de expertos por el método Delphy para el pronóstico de la investigación agrícola," *Rev. Ciencias Técnicas Agropecu.*, vol. 22, no. 4, 2013. Disponible en: <https://www-redalyc-org.bdbiblioteca.ufps.edu.co/articulo.oa?id=93231386014>
- [13] M. J. Ala Delgado, "Sistema automatizado para regular el comportamiento de los factores climáticos en el cultivo de hortalizas," *Rev. Ing.*, vol. 4, no. 10, pp. 233–252, Sep. 2020, doi: <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v4i10.68>
- [14] D. Shende, N. Wyawahare, L. Thakare, and R. Agrawal, "Design Process for Adaptive Spraying of Pesticides Based on Mutual Plant Health Detection and Monitoring: A Review," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*, 2023. <https://doi.org/10.1109/ICAIS56108.2023.10073695>
- [15] Pérez, M. Milla, and M. Mesa, "Impacto de las tecnologías de la información y la comunicación en la agricultura," *Cultivos Tropicales*, vol. 27, no. 1, pp. 11–17, 2006. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215885002>
- [16] C. E. Rodríguez López and Y. L. Vargas Castiblanco, "Importance of automation processes in the Colombian agricultural," *ID EST-Revista Investig. Desarro. Educ. Serv. y Trabajo*, vol. 4, no. 2, 2024. Disponible en: <https://www.revista.fundes.edu.co/index.php/revista/article/view/264>
- [17] K. A. Montechiari, "Automatización y robótica en la Industria lechera: creación de ventajas competitivas y mejora de la rentabilidad en Montechiari Agroindustria," M.S. thesis, 2023. Disponible en: <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/27175>
- [18] A. Atehortua Gonzalez, "Tecnología e innovación: una apuesta para desarrollar el agro colombiano," *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, vol. 5, no. 2, 2018. <https://doi.org/10.23850/24220582.1797>
- [19] P. R. A. Quinteros, M. C. Zurita, N. C. Zambrano, and E. L. Manchay, "Automatización

de los procesos industriales," *Journal of Business and Entrepreneurial Studies (JBES)*, vol. 4, no. 2, pp. 123–131, 2020. Disponible en: <https://dialnet-unirioja-es.bdbiblioteca.ufps.edu.co/servlet/articulo?codigo=7888290>

- [20] C. J. Espín Villafuerte, M. G. Quinatoa Sánchez, M. K. Jaramillo Vásquez, and D. R. Ñacato Estrella, "Aplicación de una interfaz web al proceso manufacturero en la industria agrícola de la papa y el tomate," *LATAM Rev. Latinoam. Ciencias Soc. y Humanidades*, vol. 4, no. 1, 2023. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.372>
- [21] S. Santos Valle and J. Kienzle, *Agricultura 4.0: Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible*, 2021. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb2186es>
- [22] Mercado et al., "RED SIPIA : Red de Sensores Inalámbricos para Investigación Agronómica," *XIII Work. Investig. en Ciencias la Comput.*, 2011. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/19769>
- [23] M. McLaughlin, D. Pennock, and N. Rodriguez, *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. 2019. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/items/30b955f2-9989-4629-9782-b67dfa518841>
- [24] J. M. Casso-Gaspar, O. A. Acevedo-Sandoval, and S. Martinez-Hernández, "Contaminación del suelo por microplásticos: panorama actual," *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 10, no. 19, pp. 55–60, 2022. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.9188>
- [25] M. O. Merino, A. R. O. Valencia, R. J. C. Andrade, and M. V. M. Conforme, "Las (TIC) una estrategia para prevenir la contaminación ambiental," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 3, pp. 634–642, 2023. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i3.589>
- [26] F. García and V. Miranda, "Eutrofización, una amenaza para el recurso hídrico," Vol. II la Colección Agenda pública para el Desarro. Reg. la metropolización y la sostenibilidad, 2018. Disponible en: <https://ru.iiec.unam.mx:80/id/eprint/4269>
- [27] J. A. Barraza, E. J. Espinoza, A. G. Espinos, and J. Serracin, "Agricultura de precisión con drones para control de enfermedades en la planta de arroz," *Rev. Iniciación Científica*, vol. 5, 2019, doi: <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v5.0.2368>
- [28] S. Justice and S. Biggs, "The spread of smaller engines and markets in machinery services in rural areas of South Asia," *Journal of Rural Studies*, vol. 73, pp. 10–20, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.11.013>
- [29] S. Dwivedy, A. K. Mahto, A. K. Sahoo, and C. Pradhan, "Soil Testing using IoT and

Machine Learning Classifiers," *in Proceedings of the 2022 4th International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)*, 2022. <https://doi.org/10.1109/ICAC3N56670.2022.10074391>

- [30] L. Kanuru, A. K. Tyagi, S. Aswathy, T. F. Fernandez, N. Sreenath, and S. Mishra, "Prediction of Pesticides and Fertilizers using Machine Learning and Internet of Things," *in Proceedings of the 2021 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, 2021. <https://doi.org/10.1109/ICCCI50826.2021.9402536>
- [31] M. Meeradevi, V. Sanjana, and M. R. Mundada, "Decision Support System to Agronomically Optimize Crop Yield based on Nitrogen and Phosphorus," *in Proceedings of the 2019 4th International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solution (CSITSS)*, 2019. <https://doi.org/10.1109/CSITSS47250.2019.9031054>
- [32] Y. Zhang, L. Wang, and Y. Duan, "Agricultural information dissemination using ICTs: A review and analysis of information dissemination models in China," *Information Processing in Agriculture*, vol. 3, no. 1, pp. 17–29, 2016.
- [33] M. I. Gómez, "Fertilización estratégica en el manejo eficiente de la variedad nutricional de los cultivos," *Seminario de investigación, Curso fertilidad de suelo*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá DC, 2003, p. 41.
- [34] C. M. Oliveira, A. M. Auad, S. M. Mendes, and M. R. Frizzas, "Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture," *Crop Protection*, vol. 56, pp. 50–54, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.022>
- [35] J. M. Delgado, C. Giraldo, A. F. Millán, C. Zúñiga, and J. Abadía, "Desarrollo de un software Web y Móvil para la gestión de información de campo de cultivos agrícolas (AgrocomM)," *Sistemas & Telemática*, vol. 4, no. 8, pp. 113–124, 2006. <https://doi.org/10.18046/syt.v4i8.969>
- [36] K. Lagos-Ortiz, J. Medina-Moreira, A. Alarcón-Salvatierra, M. F. Morán, J. del Cioppo-Morstadt, and R. Valencia-García, "Decision support system for the control and monitoring of crops," *in Proceedings of the 2nd International Conference on ICTs in Agronomy and Environment*, Cham, Springer International Publishing, Dec. 2018, pp. 20–28.
- [37] A. K. Sahoo, C. Pradhan, and H. Das, "Performance evaluation of different machine learning methods and deep-learning based convolutional neural network for health decision making," *in Nature Inspired Computing for Data Science*, pp. 201–212, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33820-6_8
- [38] K. G. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, and D. Bochtis, "Machine learning

in agriculture: A review," *Sensors*, vol. 18, no. 8, p. 2674, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s18082674>

- [39] E. J. Coopersmith, B. S. Minsker, C. E. Wenzel, and B. J. Gilmore, "Machine learning assessments of soil drying for agricultural planning," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 104, pp. 93–104, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.04.004>
- [40] A. Morellos, X. E. Pantazi, D. Moshou, T. Alexandridis, R. Whetton, G. Tziotziou, and A. M. Mouazen, "Machine learning based prediction of soil total nitrogen, organic carbon and moisture content by using VIS-NIR spectroscopy," *Biosystems Engineering*, vol. 152, pp. 104–116, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.04.018>
- [41] B. Nahvi, J. Habibi, K. Mohammadi, S. Shamshirband, and O. S. Al Razgan, "Using self-adaptive evolutionary algorithm to improve the performance of an extreme learning machine for estimating soil temperature," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 124, pp. 150–160, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.03.025>
- [42] A. L. Johann, A. G. de Araújo, H. C. Delalibera, and A. R. Hirakawa, "Soil moisture modeling based on stochastic behavior of forces on a no-till chisel opener," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 121, pp. 420–428, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.12.020>
- [43] Y. Bellini Saibene, J. Caldera, and L. Ramos, "Cosechando datos: desarrollos para la agricultura en la era digital," *Electronic Journal of SADIO*, vol. 19, 2020.
- [44] Y. Bellini Saibene, "Propuesta para una infraestructura de datos agropecuarios del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)," in *Simposio Argentino de GRANDES DATOS (AGRANDA 2016)-JAIIO 45*, Tres de Febrero, Nov. 2016.
- [45] Y. Bellini Saibene, M. Farrell, and H. Lorda, Relevamiento y análisis de la superficie de las explotaciones agropecuarias en el este de La Pampa, EEA INTA Anguil, 31 p., 2004. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3SC9X>
- [46] A. Kumar, S. Sarkar, and C. Pradhan, "Recommendation system for crop identification and pest control technique in agriculture," in 2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Apr. 2019, pp. 0185–0189. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2019.8697926>
- [47] A. Gour, "Crop Recommendation and Pest Control Technique in Agriculture Using Machine Learning," *International Journal of Electrical Engineering and Technology (IJEET)*, vol. 11, pp. 390–397, 2020.
- [48] P. S. Vijayabaskar, R. Sreemathi, and E. Keertanaa, "Crop prediction using predictive analytics," in 2017 International Conference on Computation of Power,

Energy, Information and Communication (ICCPEIC), Mar. 2017, pp. 370–373. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICCPEIC.2017.8290418>

- [49] Z. L. D. Hernández, J. O. B. Amaya, and J. A. A. Cuevas, Cultivo de arroz en la cuenca media y baja del río Cravo Sur: el reto de conservar y producir, vol. 352, 2020.
- [50] D. Y. R. Flórez, J. D. P. R. Tenjo, and M. H. Cáceres, "Marco metodológico para el desarrollo de aplicaciones móviles para el sector arrocero [Methodological framework for mobile application development for agricultural sector and rice]," *Ventana Informática*, no. 30, 2014. <https://doi.org/10.30554/ventanainform.30.289.2014>
- [51] A. O. Beltran, "Plataformas tecnológicas en la Agricultura 4.0: Una mirada al desarrollo en Colombia" *Journal of Computer and Electronic Science, Theory and Applications*, vol. 3, no. 1, pp. 9–18, 2022. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.02>
- [52] N. Berberian, J. Rosas, F. Pérez de Vida, M. Marella, and F. Massa, "Predicción de rendimiento en chacras: ¿qué es importante?," 2020. <http://doi.org/10.35676/INIA/ST.257>
- [53] FAO, "Plataforma Internacional para la Alimentación y la Agricultura Digitales," CL 164/9, Jun. 2020. [En Línea]. Disponible: <https://www.fao.org/3/nd058es/nd058es.pdf>