



Propuesta para la Incorporación de Herramientas Inteligencia Artificial y Big Data para mejorar la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá, combinando tecnología avanzada, políticas agrícolas y el conocimiento de la comunidad para apoyar decisiones sostenibles.

Jaime Orlando Rincón Silva

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2025

IA y Big Data la ruta a la efectividad

Título del trabajo de grado

Propuesta para la Incorporación de Herramientas Inteligencia Artificial y Big Data para mejorar la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá, combinando tecnología avanzada, políticas agrícolas y el conocimiento de la comunidad para apoyar decisiones sostenibles.

Jaime Orlando Rincón Silva

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor(a)

Asesor(a)

Sergio Andrés Zabala Vargas
Doctor en Tecnología Educativa

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2025

Contenido

Lista de tablas.....	6
Lista de figuras.....	7
Lista de anexos	8
Resumen.....	9
Abstract	10
Introducción	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Descripción del problema.....	13
1.2 La pregunta de investigación.....	17
1.3 Los objetivos de investigación	18
1.3.1 Objetivo general	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 Justificación de la investigación.....	18
2. MARCO DE REFERENCIA	21
2.1 Marco de Antecedentes	22
2.2 Marco Teórico	27
2.2.1 Estructura Social.....	27
2.2.2 Inteligencia Artificial (IA) en Agricultura.....	28
2.2.3 Big Data en Gestión Agrícola	29
2.2.4 Planificación y Programación de Cultivos.....	30
2.2.5 Análisis de Riesgos y Toma de Decisiones Basada en Datos en el Agro.....	31
2.3 Marco normativo.....	32
2.3.1 Ley Agricultura 4.0 (Proyecto de Ley 094 de 2025).	32
2.3.2 Ley 2502 de 2025.....	32
2.3.3 Ley Estatutaria 1581 de 2012	33
2.3.4 La Ley 1341 de 2009	33
2.3.5 La Ley 1978 de 2019	34
3. METODOLOGÍA.....	34

IA y Big Data la ruta a la efectividad

3.1	Enfoque y alcance de la investigación	34
3.2	Población y muestra	35
3.2.1	Definición de la población	35
3.2.2	Cálculo y selección de la muestra	36
3.3	Instrumento(s)	38
3.3.1	Exploración profunda y estructurada de la información disponible.....	38
3.3.2	Encuesta sobre Nivel de Madurez Tecnológica.	39
3.4	Información de procedimientos.	41
3.5	Información de procedimientos.	42
3.5.1	Revisión bibliográfica estado del arte.	42
3.5.2	Medición de nivel de madurez tecnológico.....	45
3.6	Recolección de datos.....	47
3.7	Codificación de datos.	48
3.8	Consideraciones éticas	49
4.	HIPÓTESIS	51
4.1	Las variables	52
4.1.1.	Variable(s) independiente(s)	52
4.1.2.	Variable(s) dependiente(s).	53
4.2	Planteamiento de hipótesis.....	53
5.	RESULTADOS	54
5.1	Presentación de resultados	54
5.1.1	Presentación de revisión bibliografía estado del arte.	54
5.1.2	Presentación de resultados encuesta.....	59
5.1.3	Presentación de revisión bibliografía estado del arte.	79
5.2	Propuesta al sector.....	79
5.2.1	Fortalecimiento institucional y de capacidades técnicas.	79
5.2.2	Innovación tecnológica aplicada y transferencia de conocimiento.....	80
5.2.3	Infraestructura y conectividad rural.	80
5.2.4	Gobernanza digital y sostenibilidad agroterritorial.	81
5.2.5	Monitoreo, evaluación e indicadores de transformación digital.....	81
5.3	Discusión	82
6.	CONCLUSIONES	88

IA y Big Data la ruta a la efectividad

7. Referencias	90
Anexos 1 Encuesta para la identificación de tecnologías emergentes en la planificación y programación del cultivo de papa en Boyacá.	97
Anexos 2. Declaración de consentimiento e información preliminar sobre la encuesta de evaluación del nivel de madurez tecnológica en la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá.	101

Lista de tablas

Tabla 1 resultados estado del arte..... 57

Tabla 2 *modelo de negocio y producto*..... 60

Tabla 3 *Clientes y proveedores* 66

Tabla 4 *Big data en proceso actual en sectores en el sector agropecuario y afines*70

Tabla 5 *Conocimiento y capacitación de nuevas tecnologías agricultura 4.0* 75

Lista de figuras

Figura 1 *Cálculo de tamaño de muestra*.....37

Figura 2 Artículos científicos relacionados con inteligencia artificial (IA) y Big Data en el sector agrícola..... 55

Figura 3 artículos relacionados con la toma de decisiones agricultura 4.0..... 56

Figura 4 Research rabbit de artículos científicos seleccionados estado del arte..... 56

Lista de anexos

<i>Anexos 1 Encuesta para la identificación de tecnologías emergentes en la planificación y programación del cultivo de papa en Boyacá...</i>	97
<i>Anexos 2. Declaración de consentimiento e información preliminar sobre la encuesta de evaluación del nivel de madurez tecnológica en la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá...</i>	101

Resumen

El proyecto de investigación analiza el papel de la inteligencia artificial y el Big Data en la optimización de la planificación y programación de cultivos de papa en el departamento de Boyacá Colombia, como respuesta a los desafíos globales de inseguridad alimentaria y sostenibilidad que afectan, de manera particular, a América Latina. El estudio surge del reconocimiento de la necesidad de fortalecer las políticas públicas de desarrollo rural mediante la integración de innovación tecnológica, justicia social y conservación ambiental. En este contexto, la IA y el Big Data se plantean como herramientas estratégicas capaces de transformar los sistemas productivos, mejorar la eficiencia técnica y promover una gobernanza agraria más inclusiva y sostenible.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, que combina métodos cuantitativos y cualitativos para examinar la relación entre tecnología, conocimiento agrícola y desarrollo sostenible. A través de la revisión bibliográfica y del estado del arte, se identificaron avances significativos en el uso de IA y Big Data para la agricultura inteligente, especialmente en contextos internacionales. Sin embargo, los resultados evidencian la escasa aplicación local de estas tecnologías y la persistencia de brechas tecnológicas, formativas y estructurales que limitan la capacidad predictiva del sector agrícola boyacense. Dichas brechas dificultan la anticipación de riesgos productivos, climáticos y de mercado, y explican fenómenos recurrentes como la sobreproducción de papa y la descoordinación entre actores de la cadena de valor.

Los hallazgos muestran un nivel medio de adopción digital en Boyacá, con un 30% de organizaciones que cuentan con estrategias tecnológicas consolidadas y un 27% en proceso de desarrollo. No obstante, persisten deficiencias en capacitación, seguridad de datos e interoperabilidad, lo que impide la consolidación de un sistema agrícola digitalmente sostenible. La propuesta metodológica final integra modelos predictivos basados en IA, analítica de grandes volúmenes de datos y saberes tradicionales campesinos como insumos para fortalecer el diseño de políticas públicas y fomentar la cooperación tecnológica entre actores del territorio.

Palabras clave: Planificación de cultivos; Inteligencia Artificial (IA); Programación de cultivos; inteligencia artificial; Sustentabilidad a largo plazo; Big Data

Abstract

The research project analyzes the role of artificial intelligence and Big Data in optimizing potato crop planning and scheduling in the department of Boyacá, Colombia, as a response to global challenges of food insecurity and sustainability that particularly affect Latin America. The study arises from the recognition of the need to strengthen public policies for rural development through the integration of technological innovation, social justice, and environmental conservation. In this context, AI and Big Data are proposed as strategic tools capable of transforming production systems, improving technical efficiency, and promoting a more inclusive and sustainable agricultural governance.

The research was conducted under a mixed-methods approach, combining quantitative and qualitative methods to examine the relationship between technology, agricultural knowledge, and sustainable development. Through a literature review and state-of-the-art analysis, significant advancements were identified in the use of AI and Big Data for smart agriculture, especially in international contexts. However, the results reveal limited local application of these technologies and the persistence of technological, educational, and structural gaps that constrain the predictive capacity of Boyacá's agricultural sector. These gaps hinder the anticipation of production, climate, and market risks and explain recurring phenomena such as potato overproduction and the lack of coordination among value chain actors.

The findings show a medium level of digital adoption in Boyacá, with 30% of organizations having consolidated technological strategies and 27% still under development. Nevertheless, deficiencies remain in training, data security, and interoperability, which prevent the consolidation of a digitally sustainable agricultural system. The final methodological proposal integrates predictive models based on AI, large-scale data analytics, and traditional rural knowledge as inputs to strengthen public policy design and promote technological cooperation among local stakeholders.

Keywords: Crop planning; Artificial Intelligence (AI); Crop scheduling; Artificial intelligence; Long-term sustainability; Big Data.

Introducción

En las primeras décadas del siglo XXI, la inseguridad alimentaria ha surgido como uno de los principales retos globales, afectando de manera especial a regiones como Asia, África y América Latina, donde altos niveles de subnutrición se asocian a una reducción progresiva de la actividad agrícola y a dinámicas de mercado adversas. En respuesta, la comunidad internacional ha impulsado la formulación de políticas públicas orientadas al desarrollo sostenible, integrando crecimiento económico, equidad social y protección ambiental como pilares fundamentales (FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF, 2025). En este contexto, la revolución digital trae consigo la emergencia de la inteligencia artificial (IA) y el análisis de Big Data como herramientas estratégicas para innovar en la gobernanza agraria, optimizar la toma de decisiones y fortalecer la sostenibilidad productiva (Sánchez C. J., 2022).

La relevancia de estas tecnologías se manifiesta de manera particular en los cultivos de papa, alimento básico a nivel mundial, cuya importancia se acentúa en Colombia y especialmente en el departamento de Boyacá. Aquí, el sector enfrenta una crisis estructural marcada por la falta de planeación, elevados costos de producción, efectos del cambio climático y la presión del contrabando, provocando desequilibrios en la oferta y demanda, pérdidas económicas recurrentes y riesgos para la sostenibilidad rural. La escasa adopción de IA y Big Data limita la anticipación de riesgos, la coordinación entre productores y la eficiencia del mercado, lo que exige promover políticas públicas y estrategias tecnológicas integrales, enfocadas en fortalecer la planificación agrícola, la formación digital y la sostenibilidad sectorial (Divya Nimma, Sachin, Pradeep, & y Mahesh, 2025).

La pregunta central que guía este trabajo es: ¿De qué manera la integración de inteligencia artificial y Big Data puede optimizar la planificación y programación de los cultivos de papa en Boyacá, y contribuir al desarrollo sostenible regional? La investigación se justifica en la necesidad de avanzar en modelos de producción agrícola más innovadores y resilientes, integrando saberes técnicos y tradicionales, y consolidando la seguridad alimentaria local y nacional frente a los desafíos actuales.

En cuanto a los objetivos, el estudio se propone desarrollar una propuesta integral de planificación agrícola basada en IA y Big Data, abordar la formación tecnológica de los actores rurales y evidenciar el impacto socio productivo de la digitalización agropecuaria en Boyacá. La revisión literaria revela avances graduales en la adopción tecnológica del sector agrícola nacional e internacional, aunque persisten brechas formativas y operativas significativas (Sánchez, Rodrigue, & José, 2022). Los resultados obtenidos a partir del análisis de 33 empresas agrícolas muestran que apenas un tercio ha avanzado en la formulación de estrategias digitales formales, mientras que la mayoría enfrenta desafíos en capacitación, integración tecnológica y gestión de información.

Metodológicamente, se empleó un enfoque mixto que combina métodos cuantitativos, como encuestas y análisis de registros productivos, con técnicas cualitativas, incluyendo entrevistas semiestructuradas y grupos focales con productores y expertos. El modelado predictivo y la validación de resultados se abordaron mediante algoritmos de IA, enriquecidos con datos locales y percepciones comunitarias (Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Las conclusiones evidencian que la transformación digital y la analítica de datos generan mejoras en eficiencia, sostenibilidad y gestión de riesgos, siempre que se integren a marcos de políticas públicas y formación adaptativa.

A lo largo del documento, el primer capítulo se centra en definir el problema, estableciendo el contexto tanto internacional como local en torno a la inseguridad alimentaria y la transformación digital en la agricultura. El segundo capítulo desarrolla el marco de referencia conceptual, normativo y empírico, incorporando un análisis crítico del estado del arte y de los marcos regulatorios pertinentes. En el tercer capítulo se explica la metodología utilizada, justificando la elección del enfoque mixto y describiendo en detalle la estructura del trabajo de campo. El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos a partir del análisis cuantitativo y cualitativo, además de la validación de modelos predictivos aplicados a los cultivos de papa. Por último, el quinto capítulo integra los hallazgos, analiza sus implicaciones para la planificación y programación agrícola, y ofrece recomendaciones orientadas a una adopción efectiva y sostenible de la inteligencia artificial y el Big Data en el sector agrícola de Boyacá.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El inicio del siglo XXI ha exhibido múltiples retos globales, destacándose la inseguridad alimentaria que afecta especialmente a continentes como Asia, África y América Latina, donde una gran proporción de la población enfrenta problemas de subnutrición. Esta situación está estrechamente relacionada con la reducción en la dedicación a las actividades agrícolas en varios territorios, lo que limita la capacidad productiva de alimentos a pesar de contar con tierras adecuadas para el cultivo. A nivel mundial, se reconoce la urgencia de diseñar e implementar políticas públicas enfocadas en el desarrollo sostenible, que integren el crecimiento económico, la justicia social y la conservación ambiental, con el fin de asegurar la supervivencia de las generaciones presentes y futuras. En este marco, la inteligencia artificial se presenta como una herramienta innovadora que puede fortalecer la creación de políticas en el sector agrario, fomentando la recuperación de la agricultura y aportando a la reducción de la inseguridad alimentaria global (Sánchez, Rodríguez, & José, 2022).

A nivel mundial, la papa es un alimento básico de gran relevancia, situándose en el tercer lugar después del arroz y el trigo, según organismos internacionales como la (FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF, 2025). La producción agrícola global enfrenta múltiples desafíos, entre los cuales destacan el cambio climático, las fluctuaciones en los precios internacionales y la urgente necesidad de modernización tecnológica para mantener competitividad en mercados exigentes (Corpus, 2019)). En este contexto, varios países latinoamericanos, como Perú y Colombia, han apostado por mejorar las cadenas productivas a través de alianzas estratégicas y la adopción de tecnologías emergentes, superando barreras tradicionales que limitan la producción y comercialización de la papa (Janampa & Liz, 2013).

La agricultura global encara retos en sostenibilidad y eficiencia productiva, donde una adecuada planificación y programación es fundamental para equilibrar oferta y demanda, evitar pérdidas económicas y reducir impactos ambientales. La ausencia de planeación estratégica en la producción genera sobreproducción, baja rentabilidad y desequilibrios en el mercado, afectando tanto a pequeños como grandes productores (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

El desarrollo tecnológico y digital ha avanzado a un ritmo significativo a nivel global, sin embargo, en el contexto colombiano, la ausencia de tecnologías adecuadas en el sector rural representa un gran desafío. Esta brecha tecnológica limita considerablemente el crecimiento del sector agropecuario, que es vital para la economía nacional, y también obstaculiza el cumplimiento de importantes estrategias tanto nacionales como internacionales, entre ellas la Misión para la Transformación del Campo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Abuchaibe & Gómez, 2021). La falta de adopción tecnológica en las zonas rurales se traduce en una baja productividad, dificultades en el acceso a mercados y una vulnerabilidad mayor frente a los impactos del cambio climático, afectando la sostenibilidad y competitividad de las actividades agrícolas.

La investigación de los autores (Mario, Hernandez, Alemany, & Panetto, 2020) destacan el papel esencial de las pequeñas explotaciones agrícolas en el desarrollo rural y territorial, subrayando su vulnerabilidad frente a factores climáticos, de mercado y de eficiencia interna. Se argumenta que la transformación hacia la “Agroalimentación 4.0”, mediante la incorporación de tecnologías digitales derivadas de la Industria 4.0, puede fortalecer la competitividad y sostenibilidad del sector, optimizando la producción y reduciendo costos. Asimismo, se evidencia la falta de consenso sobre la clasificación de las explotaciones por tamaño y se señala la importancia de una gestión moderna de la cadena de suministro agroalimentaria que integre conocimiento, innovación y cooperación entre actores rurales. Este estudio, basado en una amplia revisión bibliográfica, aporta una visión multidisciplinaria que vincula las tendencias tecnológicas emergentes con los desafíos estructurales de la agricultura contemporánea.

Además, este rezago tecnológico implica que no se aproveche plenamente el potencial de las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial, el internet de las cosas (IoT), y el Big Data, las cuales pueden fortalecer la toma de decisiones en la gobernanza y la gestión sectorial agraria, facilitando procesos más eficientes, transparentes y sostenibles (ORJUELA SANTAMARIA, 2021). La gestión informada y basada en datos contribuiría al diseño de políticas públicas más efectivas, así como a la mejora en los procesos productivos y comerciales del sector agrícola.

Frente a esta problemática, surge la necesidad urgente de formular e implementar políticas públicas innovadoras que promuevan el desarrollo e incorporación de tecnologías digitales en el ámbito agrícola, en coherencia con el contexto socioeconómico y las condiciones particulares del país. Estas políticas deben

contemplar también el fortalecimiento de las capacidades digitales de los productores rurales, quienes muchas veces carecen de formación y herramientas para adoptar y utilizar las nuevas tecnologías de manera efectiva. La apropiación tecnológica no solo depende del acceso a infraestructura y dispositivos, sino de la capacitación, acompañamiento y generación de confianza en los usuarios (Abuchaibe & Gómez, 2021).

Además, la falta de sistemas de información actualizados y bajos niveles de tecnificación en conservación postcosecha contribuyen a pérdidas significativas, ya que no se logra extender la vida útil del producto ni regular el flujo a los mercados, aumentando costos y generando impactos ambientales negativos por el uso ineficiente de insumos (FEDEPAPA, 2023).

En Colombia, y específicamente en Boyacá, el sector papero enfrenta una crisis profunda en años recientes caracterizada por la caída abrupta de los precios del producto en mercados locales, el aumento insostenible en los costos de insumos como fertilizantes y abonos, así como el impacto adverso de las condiciones climáticas extremas que afectan la productividad y calidad de la cosecha (Jiménez & Urrea, 2025). Esta situación se agrava por la sobreproducción y el contrabando de papa proveniente de países vecinos como Ecuador, que saturan el mercado con productos a precios menores y en condiciones sanitarias cuestionables, dificultando la competitividad de los productores locales (Ramos, 2025) Como consecuencia, muchos campesinos enfrentan pérdidas financieras significativas, endeudamiento, abandono progresivo del cultivo y riesgos para la sostenibilidad del sector en la región.

La región de Boyacá, con un aporte significativo al total nacional de producción de papa, enfrenta una problemática grave por la falta de planeación y programación adecuada en la siembra. Muchos productores no cuentan con herramientas ni apoyo para organizar sus ciclos productivos, lo que genera pérdidas por sobreproducción o bajos rendimientos, además de afectar la calidad y comercialización del producto. Esta falta de gestión eficiente se combina con condiciones climáticas cambiantes y la competencia del contrabando, configurando un escenario difícil para los agricultores (Jiménez & Urrea, 2025).

El acceso limitado a tecnologías modernas como Big Data e inteligencia artificial en Boyacá reduce la capacidad de anticipar riesgos y optimizar recursos en la producción. Según (Talaviya, Shah, Patel, & Yagnik, 2020), la integración de sistemas avanzados de análisis con las prácticas agrícolas tradicionales puede transformar

la gestión del cultivo, aumentando productividad y disminuyendo pérdidas. De igual forma, la cooperación entre productores mediante plataformas digitales es fundamental para estabilizar el mercado regional y fortalecer la economía local.

La siembra de papa en Boyacá enfrenta un problema serio por la falta de planeación y programación adecuada. Muchos productores tienen dificultades para organizar bien los tiempos y recursos, lo que genera pérdidas y baja productividad. A esto se suma el impacto del cambio climático, costos altos de insumos y la competencia con papa barata que llega de otros países. Sin una mejor coordinación y el uso de tecnologías actuales, como análisis de datos e inteligencia artificial, es difícil anticipar riesgos y tomar decisiones que ayuden a mantener la estabilidad del mercado y el sustento de las familias campesinas. Por eso, es urgente mejorar la cooperación entre los productores y adoptar herramientas tecnológicas que permitan planificar la producción y la comercialización de manera más eficiente, asegurando así la sostenibilidad del cultivo en la región.

La problemática del sector papero ha sido objeto de creciente preocupación tanto a nivel internacional como nacional y regional, debido a las múltiples dificultades que atraviesa este importante cultivo para la seguridad alimentaria y economía local. A nivel global, la producción agrícola enfrenta desafíos relacionados con el cambio climático, fluctuaciones en los precios internacionales, y la necesidad de modernización tecnológica para la competitividad en mercados cada vez más exigentes (Corpus, 2019). En países latinoamericanos como Perú y Colombia, la apuesta por mejorar las cadenas productivas mediante alianzas estratégicas y el uso de tecnologías ha sido una estrategia emergente para superar barreras tradicionales que limitan la producción y comercialización de la papa (Janampa & Liz, 2013).

la agricultura enfrenta retos importantes en términos de sostenibilidad y eficiencia productiva, donde la programación y planificación adecuada de los cultivos es fundamental para garantizar un equilibrio entre oferta y demanda, evitar pérdidas económicas y reducir impactos ambientales. En muchas regiones agrícolas, la falta de una planeación estratégica en la producción genera problemas de sobreproducción, baja rentabilidad y desajustes en el mercado, afectando tanto a pequeños como a grandes productores.

En síntesis, el problema central radica en la falta de cooperación efectiva y el escaso uso de tecnologías de Big Data e inteligencia artificial que se traduzcan en acciones estratégicas para estabilizar el mercado de papa en

Boyacá, afectado por condiciones adversas de mercado, ambientales y prácticas tradicionales de gestión agrícola desactualizadas. Esta situación tiene consecuencias directas en la economía rural, la seguridad alimentaria regional y pone en riesgo el tejido social de las comunidades campesinas involucradas.

La falta de planeación y programación adecuada en la siembra de papa en Boyacá es una de las principales causas que agravan la crisis del sector. Muchos productores no cuentan con herramientas ni apoyo para organizar sus ciclos productivos, lo que lleva a pérdidas por sobreproducción o bajos rendimientos, además de dificultar la mejora en la calidad y comercialización del producto. Esta falta de gestión eficiente se suma a las condiciones climáticas cambiantes y a la competencia desleal por el contrabando, generando un escenario difícil para los agricultores.

Autores como (Talaviya, Shah, Patel, & Yagnik, 2020) coinciden en que integrar sistemas de análisis avanzados con las prácticas agrícolas habituales puede transformar la gestión del cultivo, mejorando la productividad y reduciendo pérdidas. Además, la cooperación entre productores y actores de la cadena alimentaria, apoyada en plataformas digitales, es fundamental para estabilizar el mercado y defender la economía local frente a presiones externas.

Finalmente, la falta de una planificación adecuada, junto con la limitada cooperación y adopción tecnológica en Boyacá, configura un escenario en el que la producción de papa está expuesta a riesgos estructurales, económicos y ambientales que ponen en peligro su sostenibilidad y el sustento de miles de familias. Esta realidad demanda atender con urgencia estrategias que fortalezcan la organización del sector y la implementación de tecnologías innovadoras para asegurar su viabilidad futura.

1.2 La pregunta de investigación

¿Cómo puede el uso de tecnologías de inteligencia artificial y big data facilitar la planificación y optimización de la calendarización de siembras y la rotación de cultivos en la producción de papa en Boyacá, contribuyendo a evitar la sobreproducción y promoviendo prácticas agrícolas sostenibles y eficientes?

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una propuesta para mejorar la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá mediante la incorporación de herramientas de inteligencia artificial y Big Data, integrando tecnología avanzada, políticas agrícolas y conocimientos comunitarios para apoyar decisiones sostenibles.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar las condiciones actuales de la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá, incluyendo prácticas agrícolas, políticas vigentes y conocimientos comunitarios involucrados.

Identificar y seleccionar las herramientas de inteligencia artificial y Big Data más adecuadas para optimizar la calendarización de siembras y la rotación de cultivos en el contexto agrícola de Boyacá.

Evaluar los efectos de la tecnología en la reducción de la sobreproducción de papa.

Elaborar recomendaciones técnicas y estratégicas para la implementación progresiva de los sistemas, metodologías y tecnologías identificadas, orientadas al fortalecimiento de la planificación agrícola y la toma de decisiones en el sector papero de Boyacá.

1.4 Justificación de la investigación

A través de esta línea de investigación se busca aprovechar las capacidades avanzadas de la IA, que son capaces de procesar volúmenes masivos de información, anticipar escenarios futuros con un mayor grado de precisión y optimizar prácticas agrícolas clave. El objetivo final es identificar las herramientas que les permitan tomar decisiones fundamentadas, estratégicas y adaptadas a las condiciones específicas locales, promoviendo un modelo agrícola que sea más resiliente y eficiente a largo plazo (Céspedes, Miranda, & Parra, 2022).

La propuesta presentada busca integrar tecnologías avanzadas como la Inteligencia Artificial (IA) y Big Data para transformar la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá, combinando estos

avances con políticas agrícolas vigentes y el conocimiento ancestral de las comunidades locales. La IA permite analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real y generar modelos predictivos que optimizan cada fase productiva, desde la siembra hasta el monitoreo de la salud del cultivo, utilizando herramientas como sensores, drones hiperspectrales y escáneres láser 3D para detectar enfermedades o deficiencias desde etapas tempranas (Javaid, Haleem, I Khan, & Suman, 2023). Este enfoque tecnológico no solo mejora el rendimiento por hectárea, sino que también reduce el uso de insumos como agua y pesticidas, fomentando prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Además, se garantiza la alineación con políticas agrarias regionales y nacionales para asegurar apoyo financiero y técnico, mientras que la inclusión del conocimiento local y la colaboración con los productores permiten adaptar las soluciones a las particularidades sociales y culturales de la región. Así, la sinergia entre IA, Big Data, políticas públicas y saberes comunitarios impulsa un modelo de agricultura inteligente que promueve la seguridad alimentaria, la rentabilidad y la conservación ambiental a largo plazo.

La inteligencia artificial (IA) parte de la idea de que el intelecto humano puede ser representado de tal manera que una computadora sea capaz de replicar y realizar tareas de cualquier complejidad. Entre sus objetivos principales están el aprendizaje, el razonamiento y la percepción, capacidades que permiten a las máquinas entender y procesar información como lo haría un ser humano. La IA está transformando numerosos sectores al facilitar la automatización de actividades específicas, haciendo que diversas industrias adopten maquinaria inteligente para optimizar sus procesos. En el ámbito agrícola, la tecnología de inteligencia artificial ofrece un gran potencial para mejorar la eficiencia y productividad. Las máquinas dotadas con IA pueden ejecutar desde tareas sencillas hasta funciones complejas, contribuyendo a la automatización integral del trabajo. Este uso de maquinaria inteligente no solo simplifica actividades, sino que también impulsa avances que pueden tener un impacto positivo en la agricultura y en otros sectores productivos (Sharma, Georgi, Tregubenko, Alexey, & Tselykh, 2022).

La agricultura en Boyacá se focaliza en el desarrollo económico de la región y la necesidad de la población. En este sentido, el cultivo de la papa está considerado, no solo de manera cultural, sino por la extensión y la importancia que tiene en la agricultura local. Sin embargo, los agricultores tienen problemas en el contexto que se viven hoy en día. La demanda cada vez mayor de productos alimenticios, los efectos del cambio

climático y la variable contemporánea en el clima, se traducen en la necesidad de constante adaptación. La adopción de prácticas en el cultivo y la agricultura que sean sostenibles se vuelve necesaria, considerando el equilibrio que se tiene que mantener entre la productividad y el entorno, esto se suma a los problemas que se viven en la agricultura y el clima (Arrieta, 2019).

La incorporación de la inteligencia artificial y el Big Data permite una transformación innovadora y necesaria en la planeación y organización de los cultivos de papa en Boyacá. Estas tecnologías gestionan y analizan gran cantidad de información sobre el clima, el suelo, la producción agrícola y otros factores, lo que permite realizar pronósticos de gran precisión sobre los períodos óptimos para siembra, riego, fertilización y cosecha. Además, estas herramientas permiten detectar, de manera anticipada, plagas y enfermedades que amenazan la productividad (Sharma, Tselykh, Bozhenyuk, & Choudhury, 2022). La unión de este conocimiento con las tecnologías de la agricultura tradicional y la sabiduría de los pueblos, permite construir un modelo de confianza y equilibrio en la toma de decisiones que consolida los factores sociales, ambientales y económicos que el territorio aporta. Esta integración trabaja en la mejora de la eficiencia, resistencia y sostenibilidad de las actividades en el tiempo.

Esta investigación está justificada por la urgente necesidad de integrar y consolidar las capacidades técnicas y estratégicas del sector agrícola en Boyacá mediante la incorporación de nuevas tecnologías, políticas públicas innovadoras y el invaluable conocimiento de la comunidad agrícola. La propuesta tiene como objetivo mejorar, además de la eficiencia productiva y la sostenibilidad competitiva de la región, la sostenibilidad ambiental y social de la región, que es fundamental para el bienestar presente y futuro de los agricultores y el ecosistema de los cultivos agrícolas.

Los beneficiarios de este proyecto son muy variados y cada uno encuentra en él un valor especial. Para la institución o empresa participante, representa una oportunidad única para liderar iniciativas innovadoras. Esto les permitirá fortalecer su conocimiento en tecnologías de inteligencia artificial aplicadas a la agricultura de precisión, un campo que está transformando la forma en que se cultiva y gestiona la producción agrícola.

Por otro lado, la comunidad campesina de Boyacá puede aprovechar los resultados de esta investigación para combinar la tecnología avanzada con su conocimiento tradicional. Esta integración facilita una planificación agrícola más eficiente y sostenible, lo que no solo protege el medio ambiente, sino que también puede mejorar su calidad de vida.

También se benefician los estudiantes e investigadores de especialización y posgrado, especialmente los de UNIMINUTO Virtual. Ellos tendrán la oportunidad de desarrollar habilidades prácticas al enfrentar un problema real y complejo, acercando la investigación académica a la realidad cotidiana del campo.

2. MARCO DE REFERENCIA

El marco referencial planteado en esta investigación adopta un enfoque holístico y humanista, destinado a profundizar en el análisis del impacto que la inteligencia artificial y el Big Data pueden ejercer sobre la transformación de los procesos de toma de decisiones en el sector agrícola de Boyacá. Desde esta perspectiva, el estudio no solo se limita a la dimensión técnica, sino que también contempla la interacción compleja entre tecnología y seres humanos, reconociendo la importancia de factores sociales, culturales y económicos que influyen y son influenciados por estas innovaciones. En esta sección se establecen los fundamentos epistemológicos que sirven de base al análisis, permitiendo a su vez la integración de un marco teórico robusto que facilita la comprensión de los principios científicos y conceptuales inherentes a estas tecnologías emergentes. De forma complementaria, se exploran los conceptos esenciales que orientan la investigación, además del marco normativo vigente que regula la adopción y aplicación de estas herramientas, para contextualizar adecuadamente su uso dentro del entorno local y nacional. El análisis también incorpora una revisión crítica de estudios previos, identificando tanto los avances significativos alcanzados como los retos persistentes que obstaculizan la optimización de la gestión de proyectos agrícolas. Este enfoque integral busca, además de generar conocimiento técnico sólido, ofrecer una evaluación ponderada de los impactos sociales, económicos y ambientales derivados de la implementación de la inteligencia artificial y el Big Data, con el objetivo final de promover la sostenibilidad y aumentar la eficiencia productiva en el sector agrario de Boyacá.

Este análisis insiste en la necesidad de entender la adopción tecnológica no solo como un proceso técnico, sino como un fenómeno social que requiere considerar las realidades y necesidades de los agricultores, las comunidades locales y los diferentes actores vinculados a la cadena productiva agrícola. Reconocer esta dimensión permite plantear estrategias más inclusivas y adaptadas que maximicen los beneficios de la inteligencia artificial y el Big Data, fomentando una gestión agrícola más transparente, dinámica y resiliente. De esta manera, el marco referencial de este estudio sienta las bases para una investigación interdisciplinaria y contextualizada que aporta al desarrollo sostenible de Boyacá, integrando conocimiento científico, normativo y experiencial para enfrentar los desafíos actuales del sector agrario.

2.1 Marco de Antecedentes

Para el desarrollo de esta investigación, se llevó a cabo una exhaustiva revisión del estado del arte, enfocándose en los avances y estudios publicados durante los últimos (7) siete años. Esta revisión permitió identificar las tendencias, vacíos y contribuciones clave en el área de estudio. La ecuación de búsqueda utilizada fue cuidadosamente diseñada para abarcar términos relevantes y específicos: ("agricultural sector" OR "livestock" OR agriculture OR "crops") AND ("artificial intelligence" OR "data science" OR Big Data)

Las capacidades computacionales han transformado profundamente la manera en que gestionamos la información y desarrollamos procesos, tanto en nuestra vida cotidiana como en distintos sectores productivos. Estas herramientas han aportado ventajas notables que influyen directamente en la sociedad actual. Entre ellas se destaca la lógica fría, que facilita decisiones sustentadas en criterios claros y objetivos, reduciendo la influencia de juicios emocionales o subjetivos. También sobresale la precisión, que asegura resultados confiables, y la velocidad, que hace posible ejecutar en segundos tareas que antes requerían horas o incluso días.

El Internet de las Cosas (IoT) transforma el sector agroalimentario al conectar dispositivos que recopilan y comparten datos en tiempo real, optimizando recursos y reduciendo el desperdicio desde la producción hasta el consumo. Su aplicación en cultivos, ganadería y distribución mejora la eficiencia y sostenibilidad del sistema alimentario, aunque enfrenta desafíos como interoperabilidad, seguridad de datos y adopción cultural. Los pilotos desarrollados en sectores como lácteos, frutas, carne y hortalizas demuestran su potencial, destacando la

necesidad de integrar tecnología, gobernanza y colaboración para alcanzar un modelo agroalimentario inteligente y justo.. (Brewster, Roussaki, Kalatzis, Doolin, & Ellis, 2017).

El Internet de las Cosas, ha revolucionado la forma en que la sociedad y los diferentes sectores productivos funcionan, integrando sensores e inteligencia artificial en sistemas conectados que promueven una mayor eficiencia y sostenibilidad. En el sector agrícola, estas tecnologías presentan soluciones clave para afrontar el desperdicio de recursos, la degradación del suelo y la limitada automatización de procesos, ofreciendo mejoras sustanciales en actividades como el riego, la siembra y la gestión de cultivos. Este análisis emplea datos provenientes de fuentes industriales, científicas y estadísticas para desarrollar modelos predictivos y reconstructivos basados en aprendizaje automático, con el objetivo de optimizar la productividad y minimizar errores en escenarios prácticos. Mediante la integración de factores ambientales y operativos, el enfoque busca evidenciar cómo el uso estratégico de la información puede beneficiar la toma de decisiones, prevenir fallos en los sistemas de monitoreo y promover inversiones tecnológicas responsables y sostenibles en el sector agrícola (Balducci, Impedovo, & Pirlo, 2018).

El uso del big data se ha convertido en una herramienta clave para optimizar la gestión de la sostenibilidad dentro de las cadenas de suministro agrícolas, especialmente en los procesos de valorización de subproductos. Este enfoque permite analizar y mejorar cada etapa operativa, desde la selección de la biomasa hasta la eliminación de residuos, mediante la definición de indicadores económicos y ambientales. Integrando los principios de la industria 4.0, se propone un modelo estructurado en cinco pasos que combina la analítica de datos con la evaluación de sostenibilidad, estableciendo objetivos, límites e hipótesis claras que orientan la arquitectura de datos necesaria para diseñar procesos más eficientes y sostenibles en la transformación de residuos agrícolas (Belaud, Prioux, Vialle, & Sablayrolles, 2019).

La agricultura contemporánea se consolida como un campo complejo y multidisciplinario, donde la integración de tecnologías de la información y la comunicación ha permitido generar una nueva era de inteligencia agrícola basada en el uso intensivo de datos. Los avances en big data ofrecen un soporte esencial para la recolección, análisis y gestión eficiente de información proveniente de múltiples fuentes, facilitando procesos automatizados y optimizando la toma de decisiones productivas. En este contexto, la investigación sobre sistemas agrícolas y arquitecturas de big data busca cerrar la brecha existente entre la práctica agrícola tradicional y la

innovación tecnológica, al tiempo que promueve plataformas capaces de gestionar información diversa y de impulsar la productividad y sostenibilidad del sector (Lytos, Lagkas, Sarigiannidis, Zervakis, & Livanos, 2020).

Durante la revisión de artículos científicos, encontramos un estudio que destaca la importancia de la planificación de la demanda como una herramienta esencial para optimizar el desempeño empresarial. Esta estrategia es igualmente relevante en el ámbito agrícola, ya que facilita la alineación de la producción con las necesidades futuras del mercado. El trabajo presentado emplea inteligencia artificial y big data para pronosticar la demanda diaria de productos agrícolas, utilizando un modelo de regresión lineal múltiple (EMLR-DF). Este enfoque permite a los agricultores gestionar su producción de manera más eficiente. Los resultados obtenidos evidencian que el sistema es altamente efectivo y preciso, contribuyendo significativamente a una agricultura más orientada a satisfacer la demanda real (Balaji & Dakshayini, 2020).

En un mundo lleno de retos sociales, económicos y ambientales complejos, es fundamental entender cómo las innovaciones tecnológicas impactan especialmente al sector agrícola. La llamada cuarta revolución agrícola ofrece grandes oportunidades para mejorar la productividad y avanzar hacia un desarrollo sostenible, pero sus beneficios solo serán verdaderos si se reparten de manera justa entre todos. Por eso, el enfoque de Innovación Sistemática es clave para ayudar a quienes toman decisiones a apoyar a las comunidades agrícolas y manejar las tensiones sociales que surgen con las nuevas tecnologías. Ignorar estas realidades podría empeorar los problemas sociales y cuestionar si vale la pena seguir adelante con la agricultura 4.0. Así, es necesario un análisis profundo que incluya éticamente a todos los actores involucrados, para asegurar un desarrollo agrícola innovador que beneficie a la sociedad, impulse la producción y cuide el medio ambiente (Rose, Wheeler, Winter, & Charlott, 2021).

El avance tecnológico digital en el ámbito agrícola ha estado mayormente orientado hacia la agricultura de precisión y sistemas tradicionales a gran escala, sin embargo, el desarrollo reciente de la agricultura digital, fundamentada en la integración de nuevas fuentes de datos, métodos innovadores de procesamiento y una mayor conectividad, propone un cambio significativo. Este enfoque permite impulsar modalidades alternativas como la agroecología, demandando una nueva agenda de investigación que dirija el interés académico hacia estas áreas emergentes. Dicha orientación es crucial dado que tanto la tecnología digital como la agroecología representan

innovaciones transformadoras que modifican profundamente las prácticas agrícolas, los ecosistemas de innovación y las dinámicas en las cadenas productivas (Bellon-Maurel, Lutton, Bisquert, & otros, 2022).

La inteligencia artificial, definida por su habilidad para emular las capacidades humanas de aprendizaje, razonamiento y percepción, está generando un impacto significativo en la evolución del sector agropecuario. Gracias a su integración con el análisis masivo de datos, conocido como big data, esta tecnología ha logrado automatizar una amplia gama de procesos, desde las actividades más básicas hasta aquellas que requieren mayor complejidad, lo que se traduce en una mejora notable en la eficiencia y la precisión de las operaciones agrícolas. Además, la IA facilita el procesamiento de extensos conjuntos de información, permitiendo optimizar el rendimiento de los cultivos, anticipar cambios en las condiciones climáticas y gestionar los recursos de manera estratégica. Estas capacidades no solo contribuyen al desarrollo de una agricultura más avanzada e inteligente, sino que también fomentan prácticas sostenibles que impactan positivamente en el medio ambiente y en la seguridad alimentaria global (Mohd, Abid, Khan, & Rajiv, 2023)

El libro *Enhancing Automated Decision-Making Through AI* se enfoca de manera profunda en el desarrollo y aplicación de sistemas basados en inteligencia artificial que facilitan la toma de decisiones automatizada. Esta obra examina detalladamente cómo estas tecnologías innovadoras pueden diseñarse, implementarse y adaptarse para impactar positivamente diferentes sectores que influyen directamente en la calidad de vida y el bienestar de la comunidad (Hai-Jew, 2024).

El progreso de la digitalización en el ámbito agrícola está generando grandes volúmenes de datos que, si se gestionan y procesan de manera adecuada, brindan una oportunidad para optimizar los sistemas de producción de alimentos. Entre sus aplicaciones se destacan la implementación de agricultura de precisión para maximizar el uso de recursos, la predicción de rendimientos tanto a nivel regional como global, y la capacidad de adaptar los sistemas agrícolas a las consecuencias del cambio climático. Además, estos avances permiten a los consumidores tomar decisiones alimentarias más informadas gracias a la mayor disponibilidad de datos (Parra & et al, 2024) . En el caso específico de Boyacá, la integración de herramientas de inteligencia artificial y Big Data, junto con políticas agrícolas efectivas y el conocimiento local de las comunidades, tendría un impacto positivo en la planificación sustentable del cultivo de papa. Esto no solo facilitaría decisiones fundamentadas en datos, sino que también fomentaría prácticas agrícolas más eficientes y resilientes.

Tomar decisiones económicas acertadas en la agricultura hoy en día depende fundamentalmente de una gestión eficiente de los cultivos basada en datos confiables, ya que estos se han convertido en el pilar esencial de la agricultura moderna y su rápida evolución impulsa la llamada "agricultura inteligente". Mediante sensores y tecnologías avanzadas, es posible recopilar información objetiva que no solo aumenta la productividad, sino que también promueve la sostenibilidad al reducir el desperdicio y la contaminación. Esta transformación tecnológica, apoyada en el uso de big data y computación avanzada, abre nuevas oportunidades para hacer frente de forma sostenible al creciente desafío de alimentar a una población mundial en expansión, al tiempo que protege el medio ambiente y optimiza los costos de producción (Divya Nimma, Sachin, Pradeep, & Mahesh, 2025)

La Inteligencia Artificial (IA) impacta la agroindustria, resaltando su capacidad para transformar la planificación de cultivos, como el de papa en Boyacá. Tecnologías como aprendizaje automático, robótica y Big Data potencian una agricultura más productiva, sostenible y rentable a través de precisión, gestión eficiente de recursos y optimización del suministro. También subraya la monitorización en tiempo real y apoyo en decisiones basadas en conocimiento local y políticas sostenibles. Además, aborda retos éticos y barreras, como privacidad de datos y limitaciones en pequeños cultivos y contextos en desarrollo. Se destacan tendencias como la integración de IA con blockchain y biotecnología, ofreciendo recomendaciones para acelerar su adopción y fortalecer la resiliencia alimentaria (Bhat, Ahmad, Sheikh, & Sidana, 2025).

La Agricultura 4.0 se presenta como una solución innovadora ante los desafíos que enfrenta el sector agrícola en la actualidad, incluyendo el aumento de costos, la escasez de mano de obra y la degradación ambiental. A través de tecnologías como el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial y los drones, esta tendencia busca optimizar la producción y la gestión de recursos. Sin embargo, su implementación avanza lentamente, especialmente entre pequeños productores y en naciones en desarrollo. Superar obstáculos como los elevados costos, la falta de capacitación adecuada y los problemas de conectividad, acompañado de inversiones en infraestructura y políticas públicas que proporcionen apoyo, será fundamental para consolidar una agricultura sostenible, eficiente y resiliente, capaz de proteger el medio ambiente y mejorar las condiciones de vida en las zonas rurales (Vijayakumar, Murugaiyan, S., Kumar, & Sundaram, 2025).

Este artículo presenta una visión integral sobre la manera en que la Inteligencia Artificial está transformando la agroindustria, mediante la incorporación de herramientas como el aprendizaje automático, la

robótica y el análisis de datos, orientadas a optimizar la productividad, la sostenibilidad y la rentabilidad del sector. Se resaltan los avances más significativos en ámbitos como la agricultura de precisión, la gestión eficiente de recursos y la optimización de la cadena de suministro, junto con los desafíos éticos y las limitaciones que enfrenta su implementación en contextos rurales y en economías emergentes. Asimismo, se analizan tendencias innovadoras derivadas de la convergencia entre la Inteligencia Artificial, la tecnología blockchain y la biotecnología, proponiendo el fortalecimiento de la adopción tecnológica a través de políticas que fomenten la inclusión digital, la protección de los datos y la sostenibilidad del sistema agrícola a largo plazo (Bhat, Ansarullah, Ahmad, Amir, & Sidana, 2025).

el crecimiento poblacional mundial impulsa la urgencia de transformar los sistemas agroalimentarios hacia la sostenibilidad, y en este escenario la Inteligencia Artificial aparece como una aliada clave. Desde mi perspectiva, su potencial no solo reside en optimizar recursos o aumentar la productividad, sino también en abrir un debate profundo sobre las dimensiones éticas, sociales y políticas que su adopción conlleva. Esta revisión resalta que, aunque la IA puede fortalecer la resiliencia agrícola y apoyar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, su implementación aún enfrenta brechas tecnológicas, desigualdades en el acceso y desafíos éticos que deben abordarse con políticas inclusivas y un enfoque responsable (Omotayo, Adediran, Omotoso, & Olagunju, 2025).

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Estructura Social:

Integrar la educación ambiental en la agricultura es vital para que la producción y la sostenibilidad vayan de la mano, especialmente en cultivos importantes como la papa en Boyacá. La formación debe involucrar activamente a los agricultores y a la comunidad, fomentando un aprendizaje en el que se valore el entorno natural y se adquieran habilidades para enfrentar los retos ambientales. Usando la tecnología de inteligencia artificial y Big Data junto con las políticas locales y el conocimiento tradicional, se puede planificar los cultivos de manera más precisa y ajustada a la realidad del territorio. Esta combinación tecnológica y comunitaria fortalece la toma de decisiones, contemplando el cuidado ambiental, el bienestar económico y el impacto social. Además, es

fundamental que todo esto se apoye en una educación que despierte una conciencia ética, asegurando que los avances tecnológicos sirvan para proteger los recursos naturales de Boyacá y fomentar una agricultura sostenible en el tiempo. (Martos & Medina, 2022).

En la actualidad, la preocupación por el entorno natural se ha consolidado como un tema central para la salud pública y la preservación de la biodiversidad. Esta atención refleja un entendimiento más profundo sobre cómo las acciones humanas influyen negativamente en los sistemas naturales. No obstante, a pesar de esta mayor conciencia, persisten prácticas que degradan el ambiente, tales como el uso indiscriminado de materias primas, la acumulación de desechos, la contaminación atmosférica y acuática, así como los efectos adversos del cambio climático, lo que evidencia la necesidad de promover hábitos más responsables y sostenibles. (Bertoni & López, 2025)

2.2.2 Inteligencia Artificial (IA) en Agricultura

Las investigaciones sobre el uso de inteligencia artificial (I.A.) para crear políticas agrarias que protejan y fortalezcan la agricultura son recientes, destacándose principalmente en los últimos cinco años. India lidera este campo por su necesidad urgente de seguridad alimentaria, dado que el 15% de su población sufre desnutrición, y por la gran importancia del sector agrícola, que representa el 17,4% del PIB y genera el 45% del empleo. La I.A. se ha usado sobre todo para identificar áreas agrícolas y prever su evolución, así como para fomentar prácticas sostenibles que preserven la capacidad productiva del suelo. No obstante, los modelos actuales se basan fundamentalmente en variables urbanísticas y ambientales, por lo que es necesario desarrollar modelos más completos que integren factores demográficos, políticos, sociales y económicos, logrando así políticas agrarias más efectivas y adaptadas a la realidad (Sánchez C. J., 2022).

La agricultura de precisión, vista como crucial para que los países en vías de desarrollo puedan superar la pobreza mediante el aumento de su productividad agrícola, tiene un lugar relativamente nuevo en el ámbito de la investigación científica y tecnológica. Aunque las primeras publicaciones sobre este tema comenzaron a aparecer hacia finales de los años noventa, fue después de 2010 cuando se produjo un notable aumento en los estudios relacionados. A partir de esta revisión, se evidenció la necesidad del sector agrícola de adoptar tecnologías

avanzadas que optimicen la gestión de sus procesos de producción, dejando atrás decisiones basadas únicamente en la experiencia y adoptando enfoques más objetivos y fundamentados (Díaz, Salcedo, Mercado, Quiñonez, & Mejía, 2024)

La inteligencia artificial está revolucionando un número creciente de sectores al introducir avances notables como la automatización de tareas repetitivas, el análisis masivo de datos para impulsar decisiones más estratégicas, la personalización de productos y servicios basados en las necesidades individuales y la promoción de la innovación mediante la optimización de diversos procesos. No se trata solo de un avance tecnológico innovador, sino de una herramienta esencial que permite desarrollar prácticas más inteligentes, eficientes y adaptativas ante los desafíos actuales. Un ejemplo destacado de su impacto puede observarse en el ámbito de la agricultura, donde la IA juega un papel fundamental al incrementar la productividad y ofrecer soluciones a problemáticas contemporáneas. Esto se logra a través del análisis detallado de información sobre el clima, las características del suelo y los niveles de producción, lo cual facilita tanto la automatización de procesos como la toma de decisiones más acertadas en el manejo de cultivos y recursos, contribuyendo así a la sostenibilidad y eficiencia del sector agrícola (Montesinos, 2014).

2.2.3 Big Data en Gestión Agrícola

El Big Data en Colombia se ha convertido en un recurso fundamental para impulsar la evolución del sector agrícola, ofreciendo soluciones innovadoras que mejoran la productividad, optimizan los recursos disponibles y garantizan una mayor calidad en los productos obtenidos. La implementación de estas tecnologías permite un manejo más eficiente del agua, fertilizantes y pesticidas, al basarse en análisis detallados de los datos provenientes de sensores agrícolas y condiciones climáticas locales. Como resultado, no solo se logran importantes ahorros económicos al reducir costos operativos, sino que también se contribuye de manera significativa a la conservación del medio ambiente mediante una gestión más responsable de los insumos.

Además, el uso de Big Data facilita la identificación temprana de amenazas o problemas que puedan afectar los cultivos, desde plagas hasta variaciones climáticas adversas. Esto permite que los agricultores tomen decisiones basadas en información precisa y oportuna, aumentando la productividad y reduciendo las pérdidas asociadas a riesgos imprevistos. A ello se suma la capacidad de monitorear continuamente la calidad de los

productos agrícolas, lo que abre paso a cosechas más homogéneas, saludables y alineadas con las necesidades del mercado nacional e internacional. En conjunto, estas herramientas digitales están redefiniendo los paradigmas agrícolas en Colombia, promoviendo una agricultura más inteligente y sostenible (tecnicana, 2024).

Algunos autores enfatizan que involucrar a los productores desde las primeras fases del desarrollo tecnológico fomenta un diálogo continuo, esencial para adaptar las herramientas a sus necesidades y preocupaciones específicas, lo que facilita una adopción más efectiva (Bekee, Segovia, & Valdivia, 2024) El texto ofrece un análisis detallado sobre cómo los agricultores perciben y adoptan innovaciones digitales en el sector agrícola, destacando la importancia de la confianza mutua y el trabajo colaborativo como elementos clave para su integración en redes inteligentes conectadas.

A pesar de que la investigación se centró en un grupo relativamente pequeño de agricultores con experiencia en tecnologías avanzadas, los resultados obtenidos subrayan cómo esta participación temprana es un factor crucial para desarrollar soluciones prácticas y funcionales que aborden los desafíos actuales y las demandas futuras de la agricultura.

2.2.4 Planificación y Programación de Cultivos

La planificación en el sector agropecuario es crucial para evitar la sobreoferta de productos en el mercado, asegurando tanto la eficiencia como la sostenibilidad. La adopción de tecnologías innovadoras, como la inteligencia artificial (IA), la teledetección y sensores avanzados, está impulsando la agricultura de precisión, permitiendo un uso más optimizado de recursos como agua, fertilizantes y plaguicidas. Estas herramientas también permiten un control más eficiente sobre el crecimiento y la salud de los cultivos, ajustando la producción a las necesidades reales del mercado. El resultado es la reducción de excedentes que comúnmente generan pérdidas económicas y afectan la estabilidad comercial. El proyecto europeo AgriBIT ejemplifica cómo los servicios basados en IA y los sistemas de observación terrestre pueden identificar infestaciones y condiciones climáticas en tiempo real, brindando la oportunidad de adaptar las estrategias productivas mientras se disminuyen los riesgos asociados. Esto no solo favorece el aumento en calidad y cantidad de los productos agrícolas, sino que también contribuye a la reducción del desperdicio y a la preservación del entorno ecológico. Además, el acceso a

datos precisos y predicciones confiables permite a los agricultores tomar decisiones informadas, ajustando la oferta para evitar una saturación en el mercado (INFORMATICA SPA ENGINEERING - INGENIERIA, 2021).

La planificación en el sector agropecuario es crucial para evitar la sobreoferta de productos en el mercado y garantizar la sostenibilidad del sistema productivo. El texto enfatiza que, a través del uso de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) aplicada a la agricultura de precisión, se puede optimizar el uso del agua y mejorar la productividad de cultivos prioritarios, como el nogal y el viñedo, en zonas hidroagrícolas de México. Esto contribuye a la conservación del agua, aumenta los ingresos de los productores y disminuye el riesgo de abandono de tierras agrícolas, evitando así la migración rural hacia áreas urbanas y la erosión del suelo.

La adopción de sistemas tecnológicos como sensores de humedad y temperatura, estaciones meteorológicas y sistemas de riego automatizados permite un manejo eficiente del recurso hídrico mediante calendarios de riego en tiempo real basados en datos precisos. Esta planificación tecnológica ayuda a responder a las demandas del mercado sin generar excedentes, asegurando un equilibrio entre oferta y demanda (BID Invest, 2020).

Además, la experiencia del proyecto indica que con inversiones adecuadas y el apoyo institucional, la agricultura de precisión puede transformar la gestión productiva en el sector agropecuario, promoviendo comunidades rurales sostenibles y competitivas. En consecuencia, la planificación basada en tecnología y datos será clave para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la región, evitando la sobreoferta y fortaleciendo la economía familiar agropecuaria.

2.2.5 Análisis de Riesgos y Toma de Decisiones Basada en Datos en el Agro.

(Figueroa, Robles, Monroy, & Hinestroza, 2023), destacan que el Análisis de Decisión (AD) representa una herramienta de notable utilidad para la planificación estratégica en los ámbitos de la ciencia, tecnología e innovación, con especial relevancia en el contexto del sector agrícola. En el caso de Colombia, la implementación de esta metodología tiene un gran potencial para robustecer los procesos de planeación regional orientados a la investigación y desarrollo. Además, esta herramienta puede ser un instrumento clave para fomentar la

participación activa de diversos actores sociales, incluyendo comunidades rurales, indígenas y afrodescendientes, promoviendo así un enfoque más inclusivo y representativo en la toma de decisiones.

El Análisis de Decisión integra de manera armónica enfoques tanto cualitativos como cuantitativos, lo que resulta indispensable para promover decisiones más racionales y bien fundamentadas. Al mismo tiempo, permite una gestión más eficiente de los recursos disponibles y facilita la incorporación de tecnologías innovadoras en el ámbito agrícola. Por otro lado, este enfoque ofrece la ventaja de estimar no sólo los beneficios económicos, sino también los impactos ecológicos y sociales derivados de las intervenciones realizadas. Esto contribuye significativamente a identificar prácticas y modelos productivos que promuevan la sostenibilidad en los sistemas agrícolas, abarcándolos desde una perspectiva integral y holística.

2.3 Marco normativo

2.3.1 Ley Agricultura 4.0 (Proyecto de Ley 094 de 2025).

La Ley Agricultura 4.0 (Proyecto de Ley 094 de 2025) busca transformar y modernizar el sector agrícola colombiano mediante la integración de tecnologías disruptivas como la inteligencia artificial, internet de las cosas, robótica y automatización, con el fin de mejorar la productividad, eficiencia, sostenibilidad y competitividad del sector. Propone un marco normativo para fomentar la adopción de estas tecnologías mediante incentivos fiscales, financiamiento preferencial y capacitación, especialmente dirigido a pequeños y medianos productores, con el objetivo de impulsar una agricultura más moderna, sostenible y competitiva a nivel nacional e internacional, contribuyendo así al desarrollo económico y la reducción de la pobreza rural en Colombia (Senado de la republica, 2025).

2.3.2 Ley 2502 de 2025.

La Ley 2502 de 2025 en Colombia modifica el artículo 296 del Código Penal para establecer un agravante en el delito de falsedad personal cuando se comete mediante el uso de inteligencia artificial, especialmente en casos de suplantación de identidad. Además, la ley fija directrices para la formulación de políticas públicas y un marco ético en el uso seguro y responsable de la IA, promoviendo la colaboración intersectorial, la transparencia

en los algoritmos, la formación en ética digital y ciberseguridad, y la cooperación internacional. También establece la creación de registros y reportes anuales sobre riesgos emergentes asociados al uso de la IA, así como sanciones administrativas y futuras penas para quienes incumplan la normativa, con el fin de proteger los derechos fundamentales y prevenir fraudes mediante tecnología avanzada (El Congreso de Colombia, 2025).

2.3.3 Ley Estatutaria 1581 de 2012.

La Ley Estatutaria 1581 de 2012 establece disposiciones generales para la protección de datos personales en Colombia, reconociendo el derecho constitucional de todas las personas a conocer, actualizar y rectificar la información que sobre ellas se haya recogido en bases de datos o archivos, ya sean de entidades públicas o privadas. Define los principios rectores del tratamiento de datos, los derechos de los titulares, las obligaciones de los responsables y encargados del manejo de estos datos, y asigna a la Superintendencia de Industria y Comercio la vigilancia y sanción del cumplimiento de la ley. Además, regula la transferencia internacional de datos y establece excepciones específicas para ciertos tipos de información. Esta ley busca garantizar la privacidad, seguridad y adecuada gestión de la información personal frente a los avances tecnológicos y la creciente recolección de datos (CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 2012).

2.3.4 La Ley 1341 de 2009.

Establece el marco general para regular las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en Colombia, definiendo principios esenciales para la formulación de políticas públicas que guían el sector. Busca garantizar la competencia justa, protección al usuario, cobertura, calidad del servicio y promoción de inversiones, además de asegurar un uso eficiente del espectro radioeléctrico y de las redes. La ley también crea la Agencia Nacional del Espectro y faculta al Estado para la gestión, regulación, control y vigilancia del sector, promoviendo el acceso libre y sin discriminación de todos los habitantes

del país a la sociedad de la información. Esta normativa moderniza el sector TIC para generar un desarrollo tecnológico inclusivo y sostenible en Colombia (REPÚBLICA, 2019).

2.3.5 La Ley 1978 de 2019.

La cual moderniza el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en Colombia, buscando alinear incentivos, aumentar la certidumbre jurídica y facilitar la inversión privada para cerrar la brecha digital, especialmente en zonas rurales y poblaciones vulnerables. Además, simplifica y actualiza el marco regulatorio e institucional del sector, crea un regulador único, y fortalece la financiación y contenidos de la televisión y la radio públicas, promoviendo la cultura nacional y regional. La ley también establece reglas para la provisión de servicios de telecomunicaciones y televisión, garantizando el uso eficiente del espectro radioeléctrico y el respeto a la inversión realizada, con un enfoque en fomentar el desarrollo y la conexión digital en todo el país (LEGISLATIVA, 2019).

3. METODOLOGÍA

El análisis sobre la integración de herramientas de Inteligencia Artificial y Big Data para mejorar la planificación y programación de los cultivos de papa en el departamento de Boyacá se establece como una estrategia completa que une tecnología avanzada, directrices de políticas agrícolas y el saber tradicional de las comunidades locales. Este enfoque tiene como objetivo proporcionar una base firme para la toma de decisiones informadas, priorizando el desarrollo sostenible y fomentando un equilibrio entre la innovación tecnológica y las prácticas culturales.

3.1 Enfoque y alcance de la investigación.

Para llevar a cabo esta investigación, se determinó la adopción de un enfoque metodológico mixto, el cual integra elementos tanto cuantitativos como cualitativos con el objetivo de lograr una comprensión más completa y enriquecida del fenómeno analizado. Esto permite no solo explorar el problema desde diferentes perspectivas, sino también generar conclusiones fundamentadas en evidencias diversas. Dentro de este marco, se recurrirá al

uso de datos numéricos que contribuirán significativamente al análisis y la interpretación del impacto que la implementación de la inteligencia artificial tiene en la planificación y programación de los cultivos de papa en el departamento de Boyacá. En línea con lo anterior, el diseño metodológico fue estructurado en dos fases principales, cuidadosamente delimitadas y concatenadas, cuyo propósito radica en facilitar la recopilación, el análisis detallado, la interpretación cuidadosa y la posterior validación de toda la información obtenida, garantizando así la fiabilidad y solidez de los resultados:

Análisis bibliométrico: Este análisis tiene como propósito realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica disponible en bases de datos especializadas, principalmente Scopus, con el fin de identificar y evaluar las tendencias, enfoques metodológicos y aplicaciones de la Inteligencia Artificial (IA) y el Big Data en el sector agropecuario a nivel mundial. A través de esta revisión se busca comprender cómo estas tecnologías están siendo implementadas para optimizar procesos, mejorar la gestión de recursos, incrementar la eficiencia operativa y fortalecer la toma de decisiones en el sector agropecuario.

La caracterización de las empresas y asociaciones del sector agropecuario en Boyacá: Este constituye un paso esencial para comprender cómo se está adoptando la tecnología dentro del ámbito productivo. Este proceso busca identificar y analizar organizaciones, especialmente aquellas vinculadas con la producción agrícola, que han comenzado a implementar herramientas de inteligencia artificial y Big Data en la programación de cultivos. Para ello, se aplicará una encuesta orientada a conocer de qué manera estas tecnologías están siendo integradas en sus actividades cotidianas. Con esta información se pretende fortalecer la planificación agrícola, optimizar el uso de los recursos y apoyar la toma de decisiones estratégicas, con especial atención al sector papero Boyasence.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Definición de la población

Boyacá es el hogar de una de las comunidades campesinas más sólidas y numerosas del país, conformada por más de 300.000 productores agropecuarios. La mayoría son personas naturales que enfrentan desafíos significativos relacionados con las brechas educativas y la falta de apoyo administrativo. En este escenario, la

adopción de herramientas tecnológicas no puede darse de manera aislada; debe enmarcarse en un esfuerzo colectivo que combine políticas agrícolas inclusivas con el aprovechamiento del saber local. Integrar estos elementos es esencial para promover decisiones sostenibles a largo plazo, fortalecer las organizaciones rurales y mejorar continuamente los procesos productivos. (Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), 2020).

En el departamento de Boyacá, la vida rural está marcada por una arraigada tradición de organización comunitaria, que ha facilitado la creación y fortalecimiento de numerosas asociaciones campesinas enfocadas en diversas actividades productivas, sociales y ambientales. De las 776 asociaciones oficialmente registradas en la región, 613 operan activamente, lo que evidencia un notable nivel de participación y cohesión social en el entorno rural. (Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), 2020)

El grupo poblacional considerado para este estudio está integrado por un total de 776 asociaciones que han sido oficialmente registradas dentro de la región objeto del análisis. De este conjunto, se destaca que 613 se encuentran operando de manera activa, lo cual pone de manifiesto un nivel significativo de participación comunitaria y una sólida cohesión social, particularmente perceptible en los contextos rurales. Este dato no solo subraya la fortaleza de los procesos organizativos locales, sino que además refleja el impulso hacia un desarrollo colectivo, donde la asociatividad se posiciona como un componente fundamental. Su importancia radica en su función como eje estratégico para la gestión eficiente de proyectos productivos, el establecimiento y consolidación de mecanismos para la toma de decisiones participativas, y la construcción de canales de articulación con sectores gubernamentales y privados. Como resultado directo, esta alta proporción de asociaciones activas revela la existencia de una estructura social dinámica y bien organizada, que facilita significativamente la aplicación de iniciativas orientadas al fortalecimiento de las actividades agropecuarias y productivas en general.

3.2.2 Cálculo y selección de la muestra

En el proceso investigativo se realizó el cálculo del tamaño de la muestra a través de la herramienta Qualtrics. Para ello, se consideraron los parámetros estadísticos requeridos, como el nivel de confianza del 95%, el margen de error aceptable y la variabilidad estimada de la población. Estos elementos permitieron determinar un

número de participantes representativo, garantizando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos en la investigación.

Fórmula Utilizada:

$$\text{Tamaño de Muestra} = Z^2 * (p) * (1-p) / c^2$$

Donde:

Z = Nivel de confianza (1,96 para 95% o 2,5 para el 99%)

p = proporción estimada (0.5)

c = Margen de error (0.04 = ±4)

Figura 1 Cálculo de tamaño de muestra



Calculadora de tamaños de muestra

Nivel de confianza: 95 %

Tamaño de la población: 613

Margen de error: 5 %

Tamaño ideal de la muestra: 237

Fuente: qualtrics, 2025

Para realizar el cálculo correspondiente, se toma en cuenta un nivel de confianza establecido en el 95 %, lo que garantiza una alta fiabilidad en los resultados obtenidos. Además, se considera una desviación estándar de 0,5, la cual se utiliza como medida de dispersión para reflejar la variabilidad del conjunto de datos analizados. Por último, se define un margen de error o intervalo de confianza de ±5 %, permitiendo acotar el rango dentro del cual es probable que se encuentre el valor real de la población estudiada.

$$((1,96)^2 * 0,5(0,5)) / (0,05)^2$$

$$(613 * 0,25) / 0,0025$$

0,9604 / 0,0025

237

En el contexto de este proyecto, el análisis efectuado a través del software Qualtrics ha determinado que el tamaño óptimo de la muestra debería ser de 237 empresas. No obstante, atendiendo al enfoque particular del proyecto Nodo y alineándose con los objetivos específicos establecidos para este estudio, se ha decidido concentrar el análisis en un grupo reducido de 34 empresas pertenecientes al sector agropecuario y áreas vinculadas. Esta selección estratégica se ha llevado a cabo con el fin de garantizar la obtención de información relevante y representativa, la cual será fundamental para alcanzar los objetivos planteados en la investigación y ofrecer resultados que reflejen con precisión las dinámicas del sector.

3.3 Instrumento(s)

La fase de desarrollo se organiza en dos procedimientos complementarios. Primero, se lleva a cabo una revisión sistemática y exhaustiva de la literatura especializada, con el fin de fundamentar el estado actual del conocimiento y detectar las principales tendencias, vacíos y líneas de investigación relacionadas con la aplicación de Inteligencia Artificial (IA) y Big Data en el sector agrícola. En segundo lugar, se implementa una encuesta diseñada para evaluar el nivel de madurez tecnológica en el contexto agropecuario de Boyacá, recopilando percepciones, prácticas y datos relevantes que enriquecen el análisis y articulan la teoría con la realidad empírica. Este enfoque tiene como objetivo no solo consolidar información, sino también fortalecer la comprensión integral del entorno tecnológico y social que enmarca la investigación.

3.3.1 Exploración profunda y estructurada de la información disponible.

Se lleva a cabo un análisis exhaustivo de documentos científicos seleccionados, con el objetivo de entender, clasificar y organizar de forma sistemática la información recopilada. Para ello, se elabora una matriz de análisis bibliográfico que abarca los siguientes campos: autor (es), año de publicación, título del documento, tipo de publicación, número de citas, palabras clave, metodología utilizada, tecnologías tratadas y hallazgos

principales. Esta herramienta facilita la interpretación comparativa y estructurada de los contenidos, además de contribuir a la identificación de patrones conceptuales y tecnológicos relevantes para el estudio.

El proceso de revisión documental se realiza en varias fases. En primer lugar, se lleva a cabo la búsqueda en la base de datos Scopus, considerando como criterios de selección los documentos publicados en los últimos siete años y relacionados con inteligencia artificial, big data y agricultura. A continuación, la información obtenida se procesa mediante un análisis del estado del arte, registrando aspectos como el impacto de las publicaciones, la procedencia institucional y las tendencias predominantes. En una segunda fase, se realiza la síntesis conceptual de los artículos seleccionados, destacando ideas centrales, metodologías aplicadas e innovaciones tecnológicas. Asimismo, se describen los instrumentos utilizados en los estudios revisados, tales como modelos predictivos, sistemas de apoyo a la decisión o plataformas de gestión de datos agrícolas.

Además, los resultados del análisis documental se integran con la problemática central del proyecto, subrayando los aportes significativos en el ámbito de tecnologías emergentes, políticas agrícolas, sostenibilidad y conocimiento local. Este proceso permite establecer una base teórica sólida que orienta las demás etapas de la investigación.

3.3.2 Encuesta sobre Nivel de Madurez Tecnológica.

En el marco de esta investigación se empleó una encuesta estructurada conformada por 30 preguntas, dirigida a un grupo de 33 participantes vinculados al sector agrícola y actividades afines. El instrumento fue diseñado utilizando una escala de Frecuencia, con el objetivo de evaluar el grado de adopción y aplicación de tecnologías emergentes en las empresas estudiadas. La encuesta se dividió en cuatro áreas temáticas fundamentales que facilitan un análisis equilibrado de distintos aspectos relacionados con la innovación tecnológica en el ámbito agropecuario, detallándose a continuación:

Primera: Modelo de negocio.

- Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.
- Cuenta con indicadores para medir nivel de la transformación digital.
- Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.

- Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).
- Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.
- Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.
- Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.

Segundo: Clientes y proveedores.

- Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de proveedores.
- Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de clientes.
- Analiza información de sus clientes para generar o mejorar productos o servicios.
- Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus clientes.
- Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus proveedores.
- Cuenta con la planificación y dirección de la cadena de suministros desde los clientes hasta los proveedores.
- Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).

Tercera: Procesos a nivel táctico y operativo.

- Digitalización de trabajo con clientes.
- Digitalización de trabajo con proveedores.
- Intercambio de información digitalmente con socios, proveedores y clientes.
- Uso de múltiples canales de venta integrados para comercializar sus productos a sus clientes.
- Sistema de precios dinámico y adaptado al cliente.
- Analiza los datos de los clientes para aumentar su conocimiento (situación personal, preferencias, ubicación, puntuación crediticia).
- Diseña soluciones considerando los datos de los clientes.

Cuarta: Infraestructura y seguridad.

- ¿Dispone de alguna persona en la organización responsable de la transformación digital?
- Infraestructura.
- Tecnología de automatización.
- Análisis de datos.
- Seguridad de los datos.
- Seguridad de las comunicaciones.
- Software de colaboración.
- Desarrollo o aplicación de sistemas de asistencia.
- Habilidades no técnicas, como el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos.

Anexo 2. Declaración inicial e información sobre la Encuesta de nivel de madurez tecnológica especifica el instrumento utilizado para informar a los participantes sobre el objetivo del estudio, los criterios de confidencialidad y la declaración explícita del consentimiento informado, garantizando así la integridad ética y metodológica del proceso investigativo.

3.4 Información de procedimientos.

Información Bibliométrica:

Con el propósito de optimizar y organizar de manera más eficiente los datos recopilados, se llevarán a cabo acciones específicas encaminadas a depurar la información existente. Para ello, se procederá a identificar y eliminar aquellos registros que ya hayan sido publicados previamente, evitando duplicidades o información redundante. Asimismo, se implementará un formato especializado diseñado estratégicamente para documentar de manera clara, estructurada y detallada los aspectos más relevantes de cada fuente analizada, permitiendo así una mejor sistematización y acceso a los datos clave.

Encuesta:

En el caso de las encuestas que se reciban, se procederá a descartar aquellas que se encuentren incompletas o que presenten cualquier tipo de tachaduras, ya que estas podrían comprometer la calidad y la

integridad de los datos recopilados. Con respecto al análisis de las respuestas obtenidas, se utilizará como herramienta principal la escala de Frecuencia, la cual permitirá tabular y evaluar de manera estructurada las opiniones de los participantes, proporcionando un enfoque detallado y preciso para interpretar los resultados dentro del marco del estudio.

3.5 Información de procedimientos.

Este estudio presenta el diseño de una herramienta metodológica basada en encuestas, dirigida a 33 organizaciones clave del sector agropecuario en Boyacá. Su objetivo principal es identificar los usos actuales y explorar los beneficios potenciales de incorporar tecnologías de inteligencia artificial y Big Data para optimizar la planificación y programación del cultivo de papa. Este instrumento se plantea como una estrategia esencial para captar las dinámicas y necesidades reales del sector, promoviendo la integración de inteligencia artificial con políticas agrícolas sostenibles y conocimientos locales. De esta manera, se facilita una toma de decisiones más informada, eficiente y respetuosa con el medio ambiente, contribuyendo al fortalecimiento de sistemas agrícolas más resilientes y al desarrollo sostenible rural en la región.

3.5.1 Revisión bibliográfica estado del arte.

Para la realización de la presente investigación se recurrió a la base de datos bibliográfica Scopus, con el propósito de identificar, analizar y seleccionar las publicaciones académicas más relevantes relacionadas con la temática en estudio. El proceso metodológico seguido para la elaboración de esta sección comprendió las siguientes etapas:

3.5.1.1 Preguntas de la investigación.

El primer paso del proceso metodológico fue la formulación de las preguntas que orientan la investigación. Estas interrogantes constituyen la base del estudio, ya que permiten enfocar el análisis hacia los aspectos más relevantes del problema planteado y sirven como guía para la recolección y el tratamiento de la información.

Preguntas de investigación:

¿Qué modelos de Big Data se utilizan para optimizar la producción agrícola y reducir la sobreproducción en sistemas agrícolas sostenibles? ¿De qué manera las herramientas de Inteligencia Artificial contribuyen a la toma de decisiones en la agricultura sostenible? ¿Qué enfoques de inteligencia artificial permiten anticipar problemas de sobreproducción o pérdida económica en cultivos campesinos? ¿Cómo se aplican las herramientas de inteligencia artificial y Big Data en la planificación y programación de cultivos agrícolas? ¿Qué estrategias de Agricultura 4.0 han demostrado mejorar la toma de decisiones de precisión en la producción agrícola? ¿Cuáles son los principales retos y oportunidades de la implementación de Agricultura de Precisión en la región andina colombiana?

3.5.1.2 Ecuación scopus.

Para realizar la revisión bibliográfica, se empleó la base de datos Scopus, ampliamente reconocida por su extenso alcance y rigor académico. La estrategia de búsqueda fue diseñada meticulosamente con el objetivo de garantizar la obtención de resultados relevantes y de alta calidad, desarrollándose de la siguiente forma:

Consulta: ("agricultural sector" OR "livestock" OR agriculture OR "crops") AND ("artificial intelligence" OR "data science" OR Big Data)

Periodo: 2017 a 2025

Tipos de documentos: artículos científicos, ponencias en conferencias, revisiones de literatura y capítulos de libros.

Utilización de ResearchRabbit para descubrir artículos relacionados, explorar redes de citas y encontrar estudios emergentes o no evidentes en Scopus, aprovechando su capacidad de visualización y recomendaciones basadas en inteligencia artificial.

Registrar todas las referencias encontradas, con sus metadatos completos, usando gestores bibliográficos como Zotero integrado con ResearchRabbit.

3.5.1.3 *Análisis resultados estado del arte.*

En el desarrollo de un análisis bibliométrico riguroso se tienen en cuenta diversos aspectos esenciales para comprender la evolución y el alcance del conocimiento en un área determinada. Entre estos aspectos destacan las publicaciones por año, que permiten identificar las tendencias temporales y el crecimiento del interés científico en temas específicos. También se consideran las publicaciones por país, las cuales muestran la distribución geográfica del conocimiento y la colaboración internacional. Además, es fundamental analizar las principales filiaciones institucionales, para entender qué centros de investigación lideran los estudios, así como identificar a los principales autores de referencia, quienes han contribuido de manera significativa al avance del campo.

Este enfoque resulta especialmente valioso para abordar temáticas complejas como las vinculadas a la agricultura y la sostenibilidad ambiental, donde la integración de modelos y metodologías avanzadas ha cobrado gran relevancia. Entre estas metodologías se encuentran los modelos basados en agentes, que permiten simular comportamientos individuales dentro de sistemas complejos, y los autómatas celulares, que ofrecen herramientas para modelar dinámicas espaciales y temporales en entornos agrícolas. También destacan las técnicas basadas en máquinas de soporte vectorial, algoritmos evolutivos, así como las redes bayesianas y de Markov, las cuales facilitan el análisis probabilístico y la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre.

Estos modelos contribuyen a la comprensión y gestión eficiente del uso del suelo, la producción agrícola y el manejo del agua, aspectos clave dentro del contexto actual de cambio climático y agricultura sostenible. De igual manera, apoyan la reducción del impacto ambiental negativo al optimizar prácticas y recursos, favoreciendo políticas agrícolas integradas y el uso responsable de maquinaria en el campo. En esta línea, las ayudas económicas otorgadas por entidades públicas, conocidas como subvenciones gubernamentales, juegan un papel estratégico para incentivar prácticas más sostenibles y asegurar la seguridad alimentaria. La agricultura ecológica, el manejo adecuado de plagas y la adaptación frente a los cambios climáticos forman parte del conjunto de desafíos y oportunidades que estos enfoques técnicos y científicos buscan atender para promover un desarrollo agrícola más justo y sostenible.

3.5.2 Medición de nivel de madurez tecnológico.

3.5.2.1 Preguntas de modelo de negocio y producto.

Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.

Cuenta con indicadores para medir nivel de la transformación digital.

Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.

Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).

Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.

Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.

Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.

3.5.2.2 Preguntas de inversión pasadas en últimos dos años.

Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de proveedores.

Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de clientes.

Analiza información de sus clientes para generar o mejorar productos o servicios.

Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus clientes.

Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus proveedores.

Cuenta con la planificación y dirección de la cadena de suministros desde los clientes hasta los proveedores.

Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).

3.5.2.3 Preguntas de inversión futura en aspectos tecnológicos de inversión.

Digitalización de trabajo con clientes.

Digitalización de trabajo con proveedores.

Intercambio de información digitalmente con socios, proveedores y clientes.

Uso de múltiples canales de venta integrados para comercializar sus productos a sus clientes.

Sistema de precios dinámico y adaptado al cliente.

Analiza los datos de los clientes para aumentar su conocimiento (situación personal, preferencias, ubicación, puntuación crediticia).

Diseña soluciones considerando los datos de los clientes.

3.5.2.4 Preguntas clientes y proveedores.

¿Dispone de alguna persona en la organización responsable de la transformación digital?

Infraestructura.

Tecnología de automatización.

Análisis de datos.

Seguridad de los datos.

Seguridad de las comunicaciones.

Software de colaboración.

Desarrollo o aplicación de sistemas de asistencia.

Habilidades no técnicas, como el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos.

3.6 Recolección de datos.

El proceso de revisión bibliográfica se desarrolló a partir de una búsqueda sistemática en la base de datos Scopus, donde se identificaron 532 publicaciones correspondientes al periodo comprendido entre 2017 y 2025. Dichas fuentes incluyeron artículos científicos, revisiones académicas y ponencias presentadas en congresos internacionales. Durante el análisis, se examinaron variables como el año de publicación, los autores, el número de citas y las áreas temáticas abordadas. A su vez, se elaboraron fichas de síntesis para cada documento, con el fin de resumir sus principales aportes. La evaluación también abarcó los enfoques metodológicos aplicados, las tecnologías involucradas y los resultados alcanzados en cada investigación. Este proceso constituyó un eje esencial para la construcción del marco bibliográfico del proyecto, permitiendo identificar tendencias, vacíos y oportunidades de desarrollo en la temática analizada.

Dentro del marco metodológico de la investigación se implementó un instrumento diagnóstico destinado a valorar el grado de madurez tecnológica en los procesos relacionados con la gestión de proyectos. Este instrumento se materializó en una encuesta estructurada que permitió la obtención de 155 respuestas válidas. De este conjunto, 33 respuestas corresponden exclusivamente a organizaciones del sector de la agropecuario y áreas relacionadas.

La recopilación, procesamiento y organización de los datos se llevó a cabo mediante una matriz estructurada en un entorno digital, utilizando herramientas como Microsoft Excel. Esto garantizó la trazabilidad, integridad y estandarización de la información. Gracias a este procedimiento, se implementó un sistema de clasificación y análisis que permitió depurar y sistematizar las respuestas recolectadas, asegurando la consistencia y coherencia interna de los resultados.

Los datos obtenidos sirven como fundamento empírico para realizar un análisis estadístico y comparativo dirigido a identificar patrones de comportamiento, niveles de adopción tecnológica, brechas en digitalización y áreas de oportunidad para optimizar la programación de cultivos. El análisis se centrará especialmente en el sector agropecuario, dada su importancia en la dinámica productiva nacional y su progreso en la integración de herramientas tecnológicas que fomentan una gestión eficiente y una toma de decisiones más precisa.

3.7 Codificación de datos.

Para analizar con rigor los datos de la encuesta sobre madurez tecnológica en la gestión de proyectos, hemos elegido la plataforma JASP por su eficiencia para manejar grandes volúmenes y su accesibilidad para usuarios con distintos niveles de experiencia estadística. Esta herramienta ordena los datos de forma clara, permite análisis estadísticos avanzados y facilita incorporar tecnologías actuales como la inteligencia artificial (IA) y el Big Data en la interpretación.

El procesamiento seguirá un esquema que garantiza la integridad y calidad de los datos, transformándolos adecuadamente para el análisis cuantitativo:

Importación y organización: Los resultados preliminares en Excel se cargarán en JASP, delimitando claramente variables categóricas y numéricas, como el sector productivo o niveles de adopción tecnológica. Esta organización inicial es clave para manipular los datos después con facilidad.

Codificación y transformación: Asignaremos códigos numéricos a respuestas cualitativas para convertirlas en variables cuantificables. Por ejemplo, "Muy Bajo", "Bajo", "Medio", "Muy Bajo" y se codificarán como 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Esto no solo estandariza la información, sino que permite usar técnicas analíticas más robustas y comparables.

Validación y limpieza: Usaremos JASP para controlar la estructura codificada y detectar inconsistencias o errores, revisando valores faltantes o atípicos y corrigiéndolos. Así aseguramos la fiabilidad del conjunto de datos para los análisis posteriores.

La IA y el Big Data no solo apoyan en el manejo y codificación, sino que son claves para extraer patrones complejos y conocimientos profundos. Algoritmos de aprendizaje supervisado y no supervisado pueden descubrir correlaciones ocultas y segmentar perfiles tecnológicos en la gestión de proyectos, aportando insights que superan el análisis estadístico tradicional.

El enfoque Big Data también permite manejar volúmenes mayores y variados, integrando datos externos como tendencias de mercado o avances tecnológicos globales, para contextualizar y enriquecer los hallazgos. Así,

la investigación no solo describe el estado actual de madurez tecnológica, sino que anticipa trayectorias de adopción y áreas críticas para innovar.

3.8 Consideraciones éticas

El desarrollo de la Propuesta para la Incorporación de Herramientas de Inteligencia Artificial y Big Data para mejorar la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá, se enmarca en los principios éticos fundamentales que aseguran la responsabilidad científica, la transparencia en la gestión de datos y el respeto hacia las comunidades participantes.

A lo largo de todo el proceso investigativo, se dará prioridad a la protección de la privacidad y la confidencialidad de la información recolectada, garantizando el anonimato de los participantes en la presentación, análisis y publicación de los resultados. Ningún dato individual será divulgado de manera que permita identificar a personas o entidades específicas.

El estudio asegurará que toda participación se lleve a cabo con consentimiento informado, proporcionando a los encuestados información clara sobre los objetivos del proyecto, los beneficios esperados, los posibles riesgos y el uso previsto de los datos proporcionados. Se brindará la opción de aceptar o rechazar su participación de manera voluntaria, sin ningún tipo de presión o consecuencia negativa derivada de su decisión.

La información recopilada a través de encuestas, entrevistas u otras herramientas digitales será utilizada exclusivamente con fines académicos y de investigación, relacionados con la adopción de tecnologías basadas en Inteligencia Artificial y Big Data para la gestión sostenible de cultivos agrícolas. En ningún caso se compartirá información con terceros sin la autorización expresa de los participantes.

Asimismo, se alentará la transparencia, la honestidad y la responsabilidad social en la aplicación de tecnologías inteligentes, garantizando que los modelos desarrollados respeten la ética algorítmica, eviten sesgos en la toma de decisiones agrícolas y contribuyan al bienestar de las comunidades rurales de Boyacá. La investigación también fomentará el diálogo y la cooperación con los actores locales, reconociendo la importancia del conocimiento empírico campesino en la validación y contextualización de las herramientas tecnológicas propuestas.

Además, el Anexo 2. Declaración inicial e información sobre la Encuesta de nivel de madurez tecnológica especifica el instrumento utilizado para informar a los participantes sobre el objetivo del estudio, los criterios de confidencialidad y la declaración explícita del consentimiento informado, garantizando así la integridad ética y metodológica del proceso investigativo.

resaltan que la ética en la investigación conlleva adherirse a valores fundamentales como la honestidad, que se traduce en reportar los resultados de manera fiel y sin alteraciones; la integridad, que se refleja en la congruencia entre lo que se propone en el estudio y lo que realmente se lleva a cabo; el respeto hacia las personas o comunidades involucradas como sujetos o informantes; y la responsabilidad social, entendida como la obligación de minimizar cualquier posible daño y centrarse en contribuir al bienestar colectivo.

Desde esta perspectiva, sostiene que las investigaciones deben realizarse con total transparencia, lo que implica claridad y apertura tanto en los procesos como en la presentación de los hallazgos. El compromiso ético del investigador es esencial para evitar que el estudio genere algún tipo de daño físico, psicológico, social o moral a los implicados. Además, enfatiza la importancia del consentimiento informado, que asegura que los participantes comprendan completamente los objetivos, riesgos y beneficios del proyecto y acepten de manera voluntaria participar en él.

La confidencialidad se presenta como un pilar clave para la protección de la privacidad y los derechos de los participantes en cualquier estudio, ya que cumple un papel fundamental al impedir que información sensible o personal sea divulgada sin una autorización previa explícita. En este marco, la ética adquiere una importancia similar al exigir un manejo responsable y detallado de los datos recolectados. Este enfoque garantiza no solo que los datos sean utilizados de manera correcta y conforme a su propósito original, sino también que se evite cualquier tipo de manipulación inapropiada o uso malintencionado que pudiera perjudicar los derechos o intereses de los participantes.

Asimismo, (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010) enfatizan que estas premisas éticas son imprescindibles y aplicables en todo tipo de investigación científica, sin importar si se utiliza una metodología cuantitativa, cualitativa o mixta. No se trata únicamente de proteger el respeto hacia quienes participan en los estudios, sino también de facilitar la construcción de conocimientos que cuenten con credibilidad y validez,

elementos que son cruciales para consolidar la legitimidad de los hallazgos científicos y su posterior reconocimiento en la comunidad académica y en el ámbito social. En esta línea, el compromiso ético trasciende ser una simple formalidad para convertirse en un elemento transversal e ineludible que todo investigador debe asumir con total responsabilidad durante las diversas etapas del proceso investigativo.

4. HIPÓTESIS

La hipótesis central de esta investigación plantea que la incorporación de tecnologías avanzadas, específicamente la inteligencia artificial (IA) y el análisis de Big Data, en la planificación y programación de cultivos de papa en la región de Boyacá, representa una oportunidad valiosa para transformar de manera positiva la agricultura local. Se propone que mediante estas tecnologías se podrán tomar decisiones mucho más acertadas y ajustadas a las condiciones reales y cambiantes del entorno, abarcando factores climáticos, condiciones del suelo y variaciones del mercado. Esta adecuada toma de decisiones no solo facilitará optimizar los ciclos productivos, sino que impulsará un manejo más eficiente de los recursos disponibles, evitando la problemática frecuente de la sobreproducción que afecta a muchos campesinos y las cadenas productivas asociadas.

Al pensar en la agricultura desde esta perspectiva, no se trata únicamente de lograr mejorar la productividad o aumentar la cantidad de cosechas, sino de hacerlo de manera inteligente, sostenible y con fines que van más allá del beneficio económico inmediato. La mezcla de inteligencia artificial y Big Data posibilita analizar grandes volúmenes de información con velocidad y precisión, de manera que se pueden generar pronósticos más confiables sobre el clima, identificar cambios en los patrones del suelo o detectar tendencias en la demanda de los productos agrícolas. Esto permite que los agricultores y demás actores puedan planificar en función de datos concretos, minimizando la incertidumbre y el riesgo que tradicionalmente enfrentan.

Un aspecto clave es que esta hipótesis reconoce que el impacto de integrar estas tecnologías no se limita a la dimensión técnica o económica. Se dimensiona también la importancia del bienestar social de las comunidades campesinas que están directamente involucradas en el cultivo de la papa en Boyacá. Mejorar la estabilidad financiera de los agricultores implica que estos tengan mayores ingresos y seguridad económica, lo que se traduce en mejores condiciones de vida para ellos y sus familias. Además, la sostenibilidad ambiental

siempre está presente como un eje fundamental, garantizando que las prácticas agrícolas no comprometan el equilibrio natural ni los recursos para las futuras generaciones. Así, el respeto por el entorno y la conservación del suelo, el agua y la biodiversidad se integran de forma armoniosa con el progreso tecnológico.

Esta visión integral, que contiene dimensión técnica, económica, ambiental y social, busca poner en el centro a la persona, a la comunidad y al territorio donde se desarrolla la producción agrícola. La hipótesis construye un puente entre las herramientas digitales más sofisticadas y la realidad cotidiana de los campesinos. Se propone un lenguaje cercano, claro y comprensible para todos los actores de la cadena productiva, desde el agricultor que labra la tierra, hasta los técnicos, comerciantes y responsables de las políticas públicas. Esta claridad en la comunicación es vital para que la implementación de las tecnologías sea aceptada, comprendida y usada correctamente en el día a día.

Esta hipótesis expresa una esperanza: que al aplicar la inteligencia artificial y el Big Data en la agricultura, particularmente en el cultivo de la papa en Boyacá, se obtendrán beneficios concretos y duraderos. Se espera que la planificación sea más precisa y adecuada, los ciclos productivos se hagan más eficientes, y la producción se ajuste mejor a las necesidades reales del mercado. Así se evitarán pérdidas por exceso o falta de producción, y se mejorarán los ingresos de los agricultores con menor impacto ambiental. Además, se aspira a que esta transformación tecnológica tenga un efecto positivo directamente visible en la calidad de vida de las comunidades rurales, impulsando un desarrollo sostenible y equitativo en la región.

4.1 Las variables

4.1.1. Variable(s) independiente(s)

Mejora en la planificación y programación de cultivos de papa:

Definición: Cambios positivos en la gestión y organización de las actividades agrícolas relacionadas con los cultivos de papa, incluyendo la optimización en el uso de recursos, eficiencia en las fechas de siembra, manejo de riesgos climáticos y económicos.

Aspectos clave: Productividad agrícola, eficiencia en el uso de insumos, sostenibilidad ambiental, resiliencia económica.

4.1.2. Variable(s) dependiente(s).

Eficiencia en la planificación y programación de cultivos: Medida por la capacidad de anticipar y optimizar las fechas de siembra, riego y cosecha utilizando análisis de datos proporcionados por IA y Big Data.

Productividad agrícola de cultivos de papa: Nivel de rendimiento que se obtiene por hectárea, evaluado antes y después de la implementación tecnológica.

Toma de decisiones basada en evidencia: Grado en que las decisiones agronómicas (como selección de variedades, control de plagas y manejo de recursos) se fundamentan en análisis de datos estructurados y dinámicos.

Adopción de tecnologías avanzadas por los agricultores: Porcentaje de productores que incorporan herramientas tecnológicas en sus prácticas agrícolas.

Sostenibilidad ambiental de la producción: Indicadores como uso eficiente del agua, reducción de insumos químicos y conservación del suelo, impactados por la planificación optimizada.

Resiliencia ante riesgos climáticos y económicos: Capacidad de adaptación y respuesta ante variaciones climáticas adversas o fluctuaciones de mercado, mejorada a partir de la información proporcionada por IA y Big Data.

Integración del conocimiento tradicional y tecnológico: Nivel de incorporación del saber local campesino complementado con análisis tecnológicos para la gestión del cultivo.

4.2 Planteamiento de hipótesis

5. RESULTADOS

Se llevó a cabo un análisis minucioso de 33 empresas del sector de la agrícola y actividades relacionadas, con el objetivo de reunir información clave y representativa sobre la situación actual de la industria. El principal propósito de este estudio es evaluar el nivel de integración y uso de tecnologías emergentes en la gestión de proyectos dentro de estas organizaciones. Además, se pretende determinar el grado de interés y disposición de las empresas para adoptar estas innovaciones tecnológicas, promoviendo así mejoras en su competitividad y eficiencia operativa. Este análisis no solo permite entender las tendencias tecnológicas en el sector, sino también identificar oportunidades para su implementación estratégica.

5.1 Presentación de resultados.

5.1.1 Presentación de revisión bibliografía estado del arte.

La herramienta Research Rabbit facilitó un proceso sistemático y riguroso de revisión bibliográfica, contribuyendo a estructurar el marco teórico desde una perspectiva global, actualizada y académicamente sólida. Su aplicación permitió validar la pertinencia y actualidad de las fuentes seleccionadas, garantizando la coherencia metodológica y la profundidad conceptual del estudio. Como resultado, Research Rabbit se consolidó como un recurso clave para sustentar el enfoque metodológico de la investigación, fortaleciendo la base científica de la propuesta orientada a la integración tecnológica en la planificación de los cultivos de papa en Boyacá. En total, la revisión arrojó una base de 53 estudios científicos que aportaron de manera significativa al desarrollo y fundamentación del trabajo investigativo.

Pregunta inicial de búsqueda: ¿Es la tendencia tu aliada? Un análisis de las decisiones de inversión en tecnología 4.0 en pymes agrícolas.

Link scapus: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.003>

Figura 2 artículos científicos relacionados con inteligencia artificial (IA) y Big Data en el sector agrícola

The screenshot displays a research platform interface. On the left, a selected article titled "¿Es la tendencia la alada? Un análisis de las decisiones de inversión en tecnología 4.0 en pymes agrícolas." is shown. The main area features navigation options like "Trabajos similares" (2004), "Todas las referencias" (100), and "Estos autores" (6). On the right, a network graph titled "Conexiones entre su colección y 50 documentos" visualizes relationships between articles, with nodes representing authors and years. The graph shows clusters of related works, such as those by Miranda and Yungui (2019) and Wölfel and Bogsardt (2017).

Búsqueda para filtrar información : Aplicación de la inteligencia artificial en la formulación de políticas públicas relacionadas con la vocación agrícola de las regiones.

Link: <https://doi.org/10.14483/23448350.18576>

Figura 3 artículos relacionados con la toma de decisiones agricultura 4.0

The screenshot displays a research platform interface. On the left, a selected article titled "Aplicación de la inteligencia artificial en la formulación de políticas públicas relacionadas con la vocación agrícola de las regiones" is shown. The main area features navigation options like "Trabajos similares" and "Todas las referencias" (53). On the right, a network graph titled "Conexiones entre su colección y 50 documentos" visualizes relationships between articles, with nodes representing authors and years. The graph shows clusters of related works, such as those by Rodríguez and Rodríguez (2015) and Pacheco and Pacheco (2015).

Figura 4 Research rabbit de artículos científicos seleccionados estado del arte

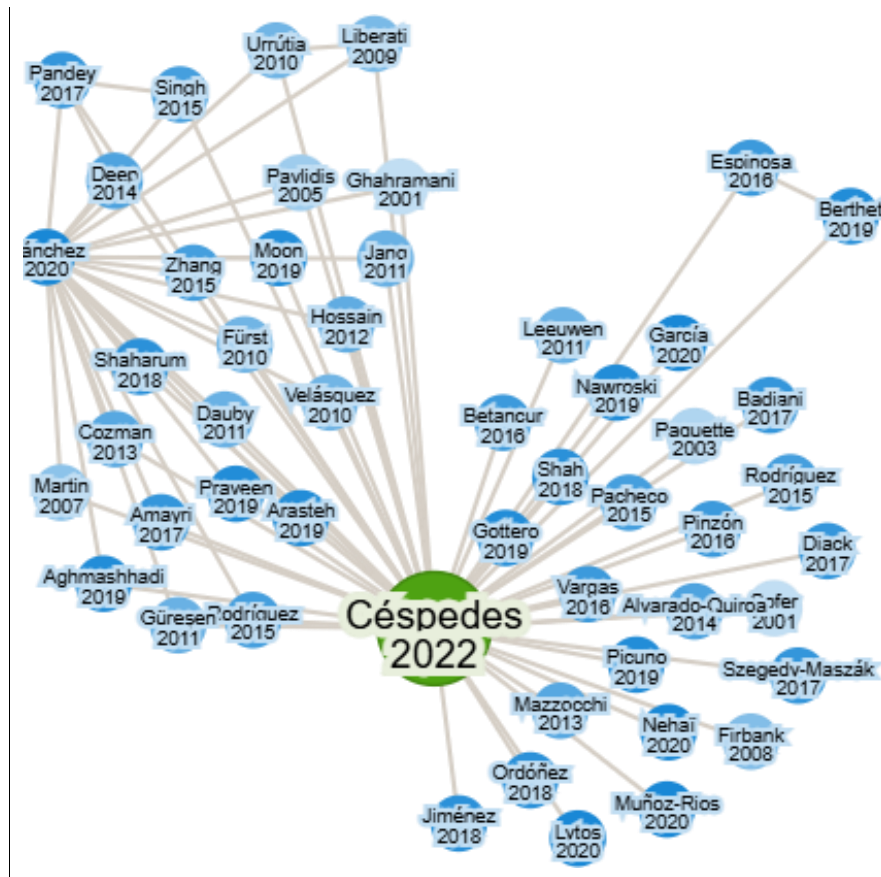
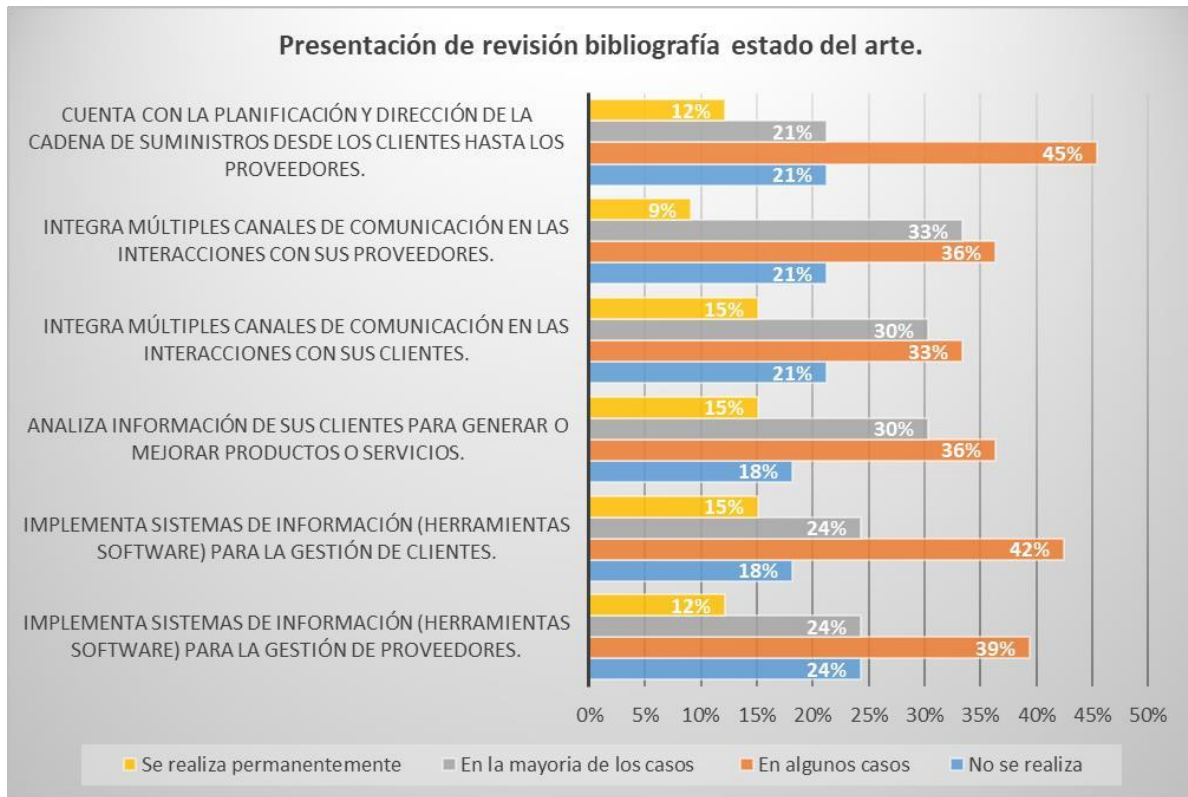


Tabla 1 resultados estado del arte.

VARIABLES	Modelo basado en agentes	Autómatas celulares	Máquina de soporte Vector	Algoritmos evolutivos	Redes bayesianas y de Markov	TOTAL
Uso del suelo	4	3	3	1	0	11
Producción agrícola	2	1	2	3	1	9
Uso del agua	3	1	1	1	2	8
Clima/Cambio climático	2	1	2	0	1	6
Agricultura sostenible	2	1	0	1	1	5
Reducción impacto ambiental negativo	2	0	0	1	0	3
Subvenciones gubernamentales "ayudas económicas otorgadas por entidades públicas"	2	0	0	0	0	2
Seguridad alimentaria	1	1	1	0	0	3
Agricultura ecológica	1	1	0	0	0	2
Manejo de plagas	0	0	0	0	2	2
Política agrícola	1	0	0	0	0	1
Uso de maquinaria	1	0	0	0	0	1
TOTAL	21	9	9	7	7	53



Integración de Inteligencia Artificial y Big Data para la planificación sostenible del cultivo de papa en Boyacá

El análisis de las distintas técnicas de Inteligencia Artificial y Big Data aplicadas al contexto agrícola revela un panorama de avance tecnológico que, sin embargo, aún requiere una mayor conexión con las realidades territoriales y comunitarias del departamento de Boyacá. Esta región, tradicionalmente reconocida por su alta producción de papa, enfrenta fenómenos de sobreproducción, variabilidad climática y fragmentación en el uso del suelo, factores que demandan estrategias más inteligentes, sostenibles e inclusivas de planificación agrícola.

Desde esa perspectiva, los resultados obtenidos reflejan que los modelos basados en agentes (42%) y los autómatas celulares (19%) son las metodologías con mayor aplicabilidad práctica para abordar los desafíos de la planificación agrícola. Ambas técnicas destacan por su capacidad de representar sistemas complejos donde las decisiones individuales de los agricultores, las condiciones del suelo y los factores ambientales interactúan

continuamente, generando patrones que condicionan la sostenibilidad productiva. En el caso del uso del suelo — la variable más estudiada con el 21% de relevancia— estas herramientas permiten simular dinámicas territoriales a distintas escalas y anticipar escenarios de presión o degradación, contribuyendo a decisiones más informadas sobre la expansión o rotación de cultivos.

Asimismo, el uso del agua (14%) y la producción agrícola (15%) se perfilan como áreas prioritarias para la incorporación de metodologías predictivas y adaptativas. El equilibrio observado entre modelos basados en agentes y lógica difusa en la gestión hídrica demuestra una tendencia hacia la integración de métodos que reflejen la incertidumbre inherente a las condiciones climáticas y la variabilidad de las fuentes de agua, aspecto especialmente relevante frente a los fenómenos de sequía y degradación de cuencas que afectan al altiplano cundiboyacense. En esta línea, el uso complementario de máquinas de soporte vectorial (13%) y algoritmos evolutivos (12%) en la estimación de rendimientos agrícolas y el diseño de estrategias de optimización permite mejorar la eficiencia productiva y la resiliencia de los sistemas de cultivo frente a riesgos económicos y ambientales.

No obstante, el estudio también evidencia una brecha temática significativa. Aspectos sociales y estructurales como las subvenciones gubernamentales, la seguridad alimentaria, el manejo de plagas o la política agrícola, que en conjunto representan menos del 5% del total de menciones, permanecen en un segundo plano dentro de la literatura analizada. Este vacío invita a una reflexión profunda sobre la necesidad de vincular los avances tecnológicos con políticas públicas coherentes y con modelos participativos de gestión agrícola que incluyan la voz y la experiencia del agricultor boyacense. Si bien la tecnología permite optimizar procesos y aumentar la eficiencia, su verdadero valor se materializa cuando fortalece el tejido social rural, potencia las buenas prácticas agrícolas y reduce las desigualdades en el acceso a la información.

Desde el punto de vista institucional, los resultados en el bloque de preguntas muestran que cerca del 40% de las organizaciones agrícolas implementa sistemas de información para la gestión de proveedores o clientes, pero sólo un 15% lo hace de manera permanente y planificada. Este dato refleja que la digitalización agrícola aún se encuentra en fases incipientes y dispersas, limitando la capacidad de aprovechar plenamente el potencial de la IA y el Big Data en la toma de decisiones. Superar esta condición requiere un esfuerzo articulado entre universidades, entidades públicas y asociaciones campesinas, orientado a construir capacidades digitales,

fomentar la interoperabilidad de datos y garantizar la sostenibilidad de las soluciones tecnológicas implementadas.

La propuesta de integrar Inteligencia Artificial y Big Data para mejorar la planificación y programación del cultivo de papa en Boyacá no solo representa un avance metodológico, sino que también se presenta como una oportunidad para establecer un modelo de gestión agrícola integral, donde se integren la tecnología avanzada, las políticas agrícolas activas y el conocimiento empírico de la comunidad rural.

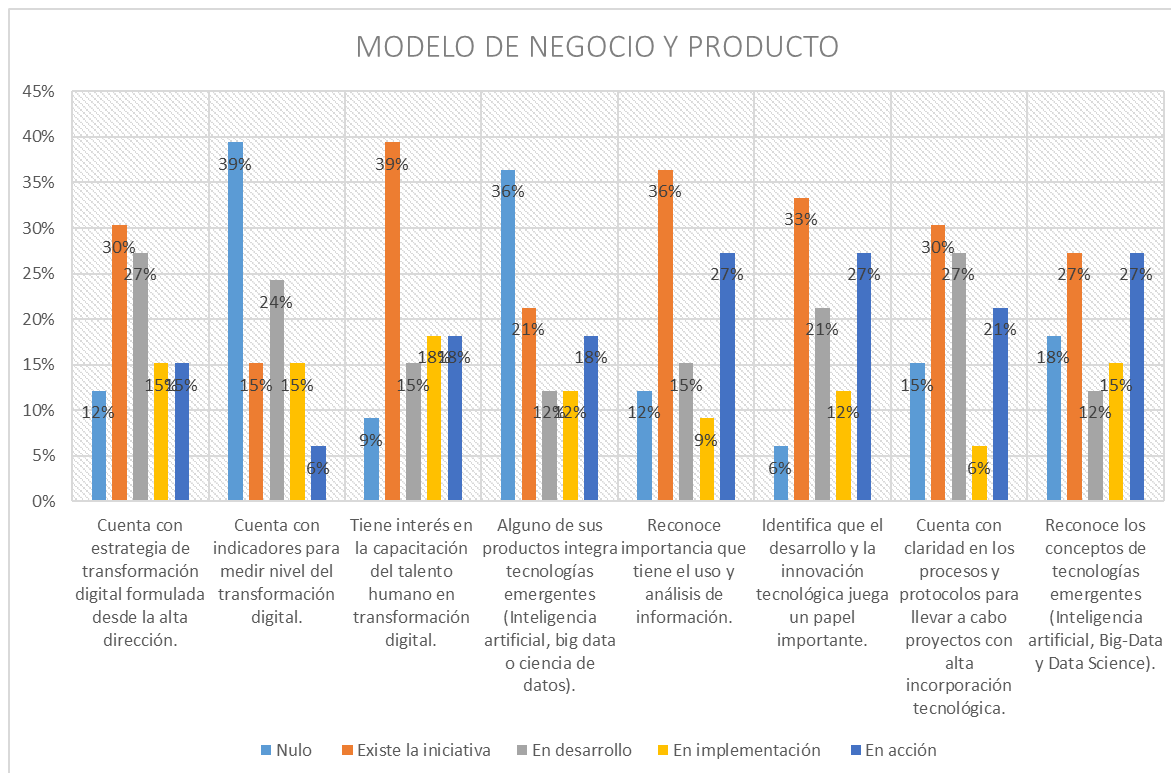
Esta sinergia constituye el núcleo de un enfoque verdaderamente sostenible: uno que no se limita a optimizar variables productivas, sino que busca promover el equilibrio entre el desarrollo económico, la equidad social y la preservación del entorno natural. En este marco, la ciencia de datos y la inteligencia artificial deben ser entendidas no como fines, sino como herramientas para la transformación territorial y social, capaces de fortalecer la soberanía alimentaria, optimizar los recursos naturales y garantizar el bienestar de las generaciones futuras en el corazón agrícola de Boyacá.

5.1.2 Presentación de resultados encuesta.

Se realizó un análisis exhaustivo de 33 empresas del sector agrícola y áreas relacionadas, con el propósito de evaluar de manera integral la adopción y aplicación actual de tecnologías emergentes en sus procesos de gestión de proyectos. Esta investigación permitió identificar no solo el nivel de interés y la disposición de dichas organizaciones para incorporar innovaciones tecnológicas, sino también comprender las motivaciones y barreras que influyen en dicha adopción. Además, el estudio revela cómo estas tecnologías contribuyen a potenciar la competitividad y eficiencia operativa de las empresas, configurándolas para enfrentar los retos del mercado con mayor adaptabilidad. Finalmente, se detectaron oportunidades estratégicas clave que pueden ser aprovechadas para impulsar el desarrollo sostenible y la modernización tecnológica dentro del sector agrícola, generando un impacto positivo a nivel económico y social.

Tabla 2 Diagnóstico de Madurez Digital y Adopción Tecnológica en el Sector Agrícola de Boyacá

Preguntas	Nulo	Existe la iniciativa	En desarrollo	En implementación	En acción	Total
Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.	4	10	9	5	5	33
Cuenta con indicadores para medir nivel del transformación digital.	13	5	8	5	2	33
Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.	3	13	5	6	6	33
Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).	12	7	4	4	6	33
Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.	4	12	5	3	9	33
Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.	2	11	7	4	9	33
Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.	5	10	9	2	7	33
Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).	6	9	4	5	9	33



Fuente: Elaboración propia (2025). Basada en preguntas Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos

El análisis de la aplicación de inteligencia artificial (IA) y big data en el sector agrícola, fundamentado en los datos obtenidos de la encuesta, permite identificar con claridad el nivel de adopción, así como las percepciones y actitudes hacia la digitalización y las tecnologías emergentes en esta disciplina. Esta evaluación no solo refleja el estado actual de integración tecnológica, sino también las oportunidades y desafíos que enfrentan los actores del sector para avanzar hacia una agricultura más innovadora y eficiente.

Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.

El 30% de las organizaciones cuenta con una estrategia de transformación digital formalmente formulada y respaldada desde la alta dirección, lo que indica un compromiso claro y estructurado hacia la digitalización. Además, un 27% se encuentra en proceso de desarrollo de esta estrategia, reflejando que casi la mitad de las entidades analizadas están activamente involucradas en fases iniciales o intermedias de digitalización de sus procesos. Este dato sugiere una tendencia creciente hacia la adopción de tecnologías digitales como eje para la competitividad y modernización organizacional, donde la alta dirección juega un rol fundamental en la definición del rumbo estratégico.

Sin embargo, la distribución de la madurez digital es heterogénea, ya que un 12% de las organizaciones no ha registrado ningún avance en materia de transformación digital, lo que podría estar ligado a factores como limitaciones de recursos, resistencia al cambio o falta de visión directiva. Por otra parte, el 15% se encuentra en una etapa más avanzada, con procesos de transformación ya en implementación o acción activa, evidenciando un nivel superior de madurez y adaptación al entorno digital. Esta variabilidad refleja un panorama donde la digitalización no es homogénea ni lineal, sino que cada organización evoluciona a su propio ritmo frente a desafíos internos y externos, abriendo oportunidades para el estudio de los factores que facilitan o dificultan este avance.

Cuenta con indicadores para medir nivel de la transformación digital.

El análisis de los datos revela una significativa carencia en la medición de la transformación digital dentro del sector estudiado, evidenciada por un 39% de las entidades que no cuentan con ningún indicador que permita evaluar dicho proceso, es decir, presentan datos nulos o ausentes en esta área. Por otro lado, apenas un 36% ha desarrollado algún tipo de indicador o metodología para medir el progreso en la transformación digital, distribuidos en diferentes etapas: 15% se encuentra en la fase de iniciativa, 24% en desarrollo y 15% en implementación y acción. Esta distribución sugiere que, aunque existe un interés palpable en iniciar y avanzar con la transformación digital, las herramientas concretas para monitorear y evaluar dicha evolución son limitadas y permanecen en etapas preliminares en la mayoría de los casos.

Esta situación implica un desafío relevante para la gestión y seguimiento de proyectos de transformación digital, ya que la ausencia de métricas claras y consistentes dificulta la toma de decisiones estratégicas basadas en evidencia objetiva. Además, la falta de indicadores adecuados puede obstaculizar la identificación de áreas críticas de mejora, la evaluación del impacto real de las iniciativas digitales y la justificación de inversiones futuras. En consecuencia, para avanzar hacia una transformación digital efectiva y sostenible, es indispensable que las organizaciones desarrollen e implementen sistemas robustos de medición que permitan monitorear el progreso, identificar desviaciones y adoptar acciones correctivas oportunas, fortaleciendo así la capacidad institucional para adaptarse a los cambios tecnológicos de manera dinámica y fundamentada.

Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.

El interés por capacitar al talento humano en las nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura, especialmente en inteligencia artificial (IA) y big data, es un factor crucial para el desarrollo innovador y competitivo del sector. Los datos muestran que un 39% de los participantes han demostrado una iniciativa clara y proactiva para formarse en estas áreas, lo cual refleja una conciencia creciente sobre la importancia de adquirir conocimientos técnicos especializados que potencien el aprovechamiento de herramientas digitales avanzadas. Además, un 36% se encuentra actualmente en fases activas de implementación o capacitación, lo que indica no solo intención sino un compromiso concreto con el proceso de transformación tecnológica. Esta dinámica sugiere que más del 75% de la población analizada reconoce el valor estratégico de adaptarse a las tendencias tecnológicas emergentes para mejorar los procesos productivos y la toma de decisiones en el ámbito agrícola.

Solo un 9% no mostró interés o manifestó capacidades iniciales nulas resulta significativo para entender las barreras existentes en la adopción tecnológica. Esta minoría indica que, aunque el entusiasmo y la participación son mayoritarios, aún quedan desafíos relacionados con la motivación, el acceso a la capacitación, o posibles limitaciones previas en habilidades digitales que requieren atención específica. En una tesis de investigación, este análisis destaca la necesidad de diseñar estrategias inclusivas y efectivas para formar y motivar a todos los actores involucrados en el sector agrícola, promoviendo no solo la capacitación técnica sino también el cambio cultural hacia la innovación y la digitalización. De esta manera, se puede garantizar que el proceso de modernización tecnológica sea integral y sostenible.

Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).

La integración de tecnologías emergentes en los productos de la muestra analizada revela un panorama heterogéneo y aún incipiente en su adopción. Sólo un 18% de los casos muestra una implementación efectiva, lo que evidencia que, si bien existe un grupo reducido con avances concretos, la mayoría de las organizaciones o proyectos están retrasados en este aspecto. Por otro lado, un 36% ni siquiera ha comenzado el proceso de incorporación de estas tecnologías, lo que refleja un vacío importante en la transición hacia la innovación tecnológica. Este comportamiento sugiere que, a pesar del creciente discurso sobre tecnologías emergentes, la materialización práctica y operativa de estas herramientas sigue siendo limitada y enfrenta barreras que dificultan su adopción inmediata.

Al observar que un 21% de los casos están en la etapa de iniciativa, lo que indica un reconocimiento y preocupación incipiente hacia la integración tecnológica, aunque sin una ejecución tangible aún. El 24% que está en proceso de desarrollo o implementación confirma que la mayoría se encuentran en fases preliminares donde se están sentando las bases para futuras aplicaciones. Este escenario denota que el avance en la adopción de tecnologías emergentes es todavía temprano y que se requiere de mayores esfuerzos estratégicos, capacitando recursos y fomentando condiciones que permitan superar los obstáculos existentes. Desde el punto de vista investigativo, estos datos permiten afirmar que la transición hacia una innovación tecnológica consolidada es progresiva, con amplias oportunidades para la investigación y mejora en modelos de integración efectiva.

Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.

El 27% de los participantes reconoce y aplica activamente el uso y análisis de información en sus prácticas agrícolas, lo cual indica un interés significativo por incorporar datos en la toma de decisiones. Este porcentaje se complementa con un 36% que manifiesta iniciativa hacia el uso de información, mostrando predisposición para adoptar nuevas herramientas y metodologías basadas en datos. Por otro lado, un 15% se encuentra en proceso de desarrollo en esta área, lo que sugiere que aún existen barreras o falta de capacidades para implementar completamente un enfoque basado en información. Estos resultados reflejan una aceptación creciente del valor que representa el manejo adecuado de datos para optimizar los procesos productivos y mejorar la eficiencia en el sector agrícola.

Además, el análisis de marca una tendencia favorable hacia la transformación digital y el uso de tecnologías de información en la agricultura, inscrita dentro de un contexto global de innovación y sostenibilidad. Esta dinámica evidencia que más agricultores y profesionales del sector están reconociendo que el análisis de datos es clave para enfrentar los desafíos actuales, como la variabilidad climática, la optimización de recursos y la planificación temprana de cultivos. Sin embargo, la diferencia porcentual entre quienes aplican activamente la información y quienes apenas están en etapa de desarrollo también señala la necesidad de fortalecer programas de capacitación, acceso a tecnologías adecuadas y acompañamiento técnico continuo. En suma, esta evolución en la cultura del dato en la agricultura abre oportunidades para la implementación de modelos basados en Big Data, inteligencia artificial y sistemas predictivos que contribuyan a la toma de decisiones más precisas y sustentables.

Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.

El 27% de los encuestados reconoce el desarrollo e innovación tecnológica no solo como un aspecto importante, sino también como una acción en marcha dentro del contexto evaluado. Esta proporción refleja un grupo significativo que valora activamente la aplicación de nuevas tecnologías y procesos innovadores, evidenciando un compromiso real con la modernización y la mejora continua. Por otro lado, un 33% adicional considera que la innovación tecnológica se encuentra aún en fase de iniciativa, lo que indica que esta realidad está en etapa inicial de implementación o planificación, con un potencial crecimiento en su adopción futura.

Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.

El análisis de estos datos revela una realidad significativa respecto al nivel de madurez y comprensión de los procesos y protocolos en proyectos tecnológicos dentro de la muestra evaluada. Solo un 21% de los participantes cuenta con una claridad completa sobre dichos procesos, lo que indica una proporción limitada de individuos con un entendimiento integral y estructurado que les permita gestionar eficazmente los proyectos tecnológicos. Esta situación pone de manifiesto una brecha importante en conocimientos y prácticas que podría afectar negativamente la calidad, eficiencia y resultados esperados de los proyectos. Además, un 30% se encuentra en una fase inicial o de iniciativa, lo que implica que están en proceso de construcción o definición de sus protocolos, pero aún no han alcanzado una implementación consolidada. Finalmente, el 15% permanece sin

claridad alguna, mostrando una preocupante falta de comprensión que puede traducirse en alta incertidumbre, riesgos y dificultades para avanzar en los proyectos.

Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).

El reconocimiento de conceptos sobre IA, big data y ciencia de datos está en el 27% en acción, pero el 18% aún está en nulo.

El análisis de la aplicación de inteligencia artificial (IA) y big data en el sector agrícola muestra una realidad diversa y en evolución. Casi la mitad de las organizaciones ya están activamente trabajando en su transformación digital, con un 30% que cuenta con una estrategia definida desde la alta dirección y un 27% que está en desarrollo. Sin embargo, también hay un segmento que aún no ha comenzado este camino, reflejando diferentes niveles de madurez tecnológica.

Aunque existe un interés evidente en capacitar al talento humano para aprovechar estas tecnologías, con un 75% entre iniciativas y acciones concretas, la evaluación del progreso digital aún es limitada: un 39% no cuenta con indicadores para medir avances, lo que dificulta entender cuánto impacto real se está logrando.

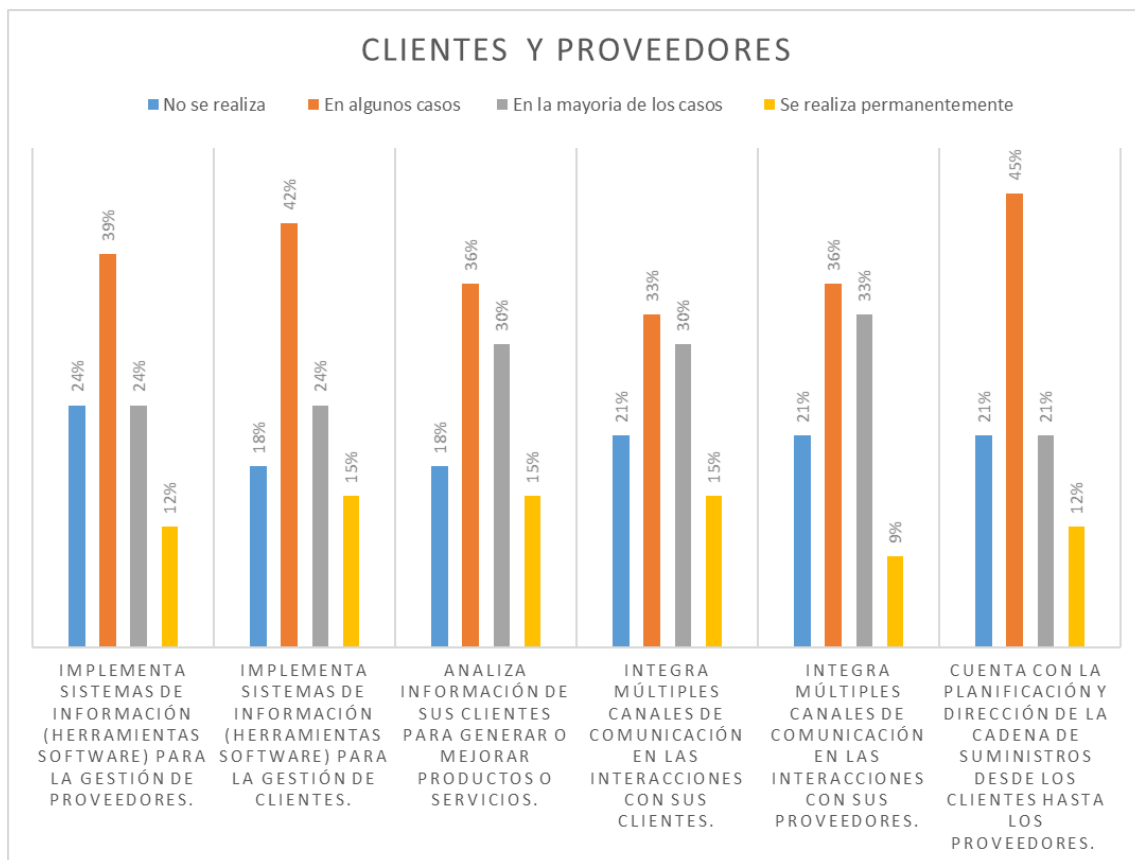
En cuanto a la integración de tecnologías emergentes, apenas un 18% ha implementado productos basados en IA y big data, mientras que más de un tercio todavía no ha iniciado. El valor del análisis de datos está ganando terreno, con más de un cuarto de los encuestados aplicándolo efectivamente, y otro grupo significativo en etapas iniciales.

Además, la innovación tecnológica es reconocida como importante por un buen número de actores, aunque solo una minoría tiene procesos y protocolos claros para gestionar proyectos de alto contenido tecnológico. Finalmente, el conocimiento conceptual sobre IA, big data y ciencia de datos está en desarrollo: un 27% ya actúa con base en estos conceptos mientras que un 18% aún no los reconoce.

Este panorama revela un sector agrícola en transición, con avances relevantes y desafíos claros para fortalecer la adopción efectiva y estratégica de tecnologías digitales.

Tabla 3 Optimización de la Cadena de Valor Agro productiva mediante Sistemas de Información y Gestión Digital

PREGUNTAS	No se realiza	En algunos casos	En la mayoría de los casos	Se realiza permanentemente	Total
Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de proveedores.	8	13	8	4	33
Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de clientes.	6	14	8	5	33
Analiza información de sus clientes para generar o mejorar productos o servicios.	6	12	10	5	33
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus clientes.	7	11	10	5	33
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus proveedores.	7	12	11	3	33
Cuenta con la planificación y dirección de la cadena de suministros desde los clientes hasta los proveedores.	7	15	7	4	33



El análisis de la adopción de inteligencia artificial (IA) y Big Data en el sector agrícola, a partir de las respuestas recogidas sobre el nivel de implementación de sistemas de información y herramientas de análisis de datos en la gestión de proveedores, clientes y la cadena de suministros, revela una realidad heterogénea. Se evidencia que, si bien algunas organizaciones han avanzado significativamente en la integración de estas

tecnologías para optimizar procesos, mejorar la toma de decisiones y fortalecer la eficiencia en la gestión, otras permanecen en etapas iniciales o con una aplicación limitada. Esta diversidad refleja tanto las diferencias en capacidad tecnológica como en recursos, conocimiento y disposición al cambio dentro del sector. Además, pone de manifiesto el reto que representa para la agricultura moderna la necesidad de superar barreras tecnológicas y culturales para aprovechar plenamente el potencial transformador de la IA y Big Data, que pueden contribuir a una producción más sostenible, eficiente y competitiva. En definitiva, el análisis indica que la incorporación de estas herramientas innovadoras es un proceso en crecimiento, con oportunidades importantes para profundizar su uso y lograr un impacto positivo más amplio en toda la cadena agroindustrial.

Implementación de sistemas de información para gestión

Gestión de proveedores: La gestión de proveedores presenta un panorama complejo y revelador en cuanto a la adopción de sistemas software especializados. Se observa que un 24% de los encuestados no utiliza ningún tipo de sistema digital para este propósito, lo cual puede reflejar barreras tecnológicas, falta de recursos o desconocimiento de las ventajas que estas herramientas pueden ofrecer. Por otro lado, un 39% emplea estos sistemas de forma esporádica o en situaciones específicas, lo que indica que la adopción es todavía incipiente o se limita a ciertos procesos puntuales. Solo un 12% de los encuestados implementa estos sistemas de manera continua y completa, evidenciando que el nivel de madurez en la gestión digitalizada de proveedores es bajo y hay un amplio margen para fortalecer la integración tecnológica en esta área clave para la cadena de suministro.

Gestión de clientes: En cuanto a la gestión de clientes, los datos muestran un avance relativo, aunque también reflejan una situación con oportunidades importantes de mejora. Un 15% de las organizaciones encuestadas utiliza sistemas de información permanentemente para gestionar su relación con los clientes, lo que denota una mayor disposición a adoptar tecnologías que optimicen la interacción y seguimiento de los clientes. Adicionalmente, un 42% lo hace de forma ocasional, mientras que un 18% no aplica ninguna herramienta digital en esta área, lo cual puede limitar la capacidad de fidelización y respuesta oportuna ante las necesidades del cliente. Estos resultados sugieren que, aunque la gestión de clientes cuenta con una base tecnológica algo más desarrollada que la gestión de proveedores, en general la transformación digital está en etapa inicial o parcial, y se requiere un mayor esfuerzo para consolidar sistemas robustos que impulsen la eficiencia y calidad en la relación comercial.

Análisis de datos para mejora de productos/servicios

Solo un 15% de los encuestados declara analizar de manera constante y sistemática la información que recopilan sobre sus clientes con el propósito de mejorar sus productos o servicios, mientras que aproximadamente un 30% realiza este análisis la mayoría de las veces, pero no siempre. Estos datos revelan que, aunque existe una tendencia creciente hacia el uso de la información de clientes para la toma de decisiones comerciales, el aprovechamiento avanzado de las herramientas de Big Data para obtener inteligencia comercial aún no se ha generalizado ni se lleva a cabo de forma permanente. Esto refleja una oportunidad importante para las organizaciones que buscan fortalecer su capacidad de adaptación y competitividad en mercados dinámicos, al implementar procesos analíticos más integrales y continuos que les permitan comprender mejor las necesidades y preferencias de sus consumidores.

Integración de canales de comunicación

La integración de múltiples canales de comunicación con los clientes se lleva a cabo de manera constante en un 15% de los casos, y en un porcentaje más elevado, el 30%, se realiza en la mayoría de las ocasiones. No obstante, es importante señalar que un 21% de las organizaciones no implementa ninguna integración de canales para la gestión de sus relaciones con los clientes. Este panorama refleja una diferenciación en las prácticas comunicativas y un margen significativo para mejorar la sinergia entre los distintos medios utilizados.

Cuando analizamos las interacciones con los proveedores, se observa una disminución notable en el porcentaje de integración permanente de canales, que desciende al 9%. Por otro lado, un 33% asegura llevar a cabo esta integración en la mayoría de los casos, lo que indica que, aunque la práctica existe, no es tan consolidada ni frecuente como en el caso de la comunicación con clientes. Esta diferencia evidencia una brecha relevante en la estrategia de comunicación empresarial, en la que la relación con los proveedores recibe menos atención en términos de integración multimodal.

Este análisis pone de manifiesto la necesidad de fortalecer y homogenizar los procesos de integración de canales para mejorar la eficiencia comunicativa con todos los actores clave del negocio, dado que una comunicación integrada no solo facilita la coordinación y reduce posibles errores, sino que también contribuye a construir relaciones más sólidas y confiables, tanto con los clientes como con los proveedores. Por ello, es

fundamental reconocer esta disparidad y trabajar en la implementación de políticas y herramientas que permitan una integración efectiva y permanente en todos los frentes comunicativos.

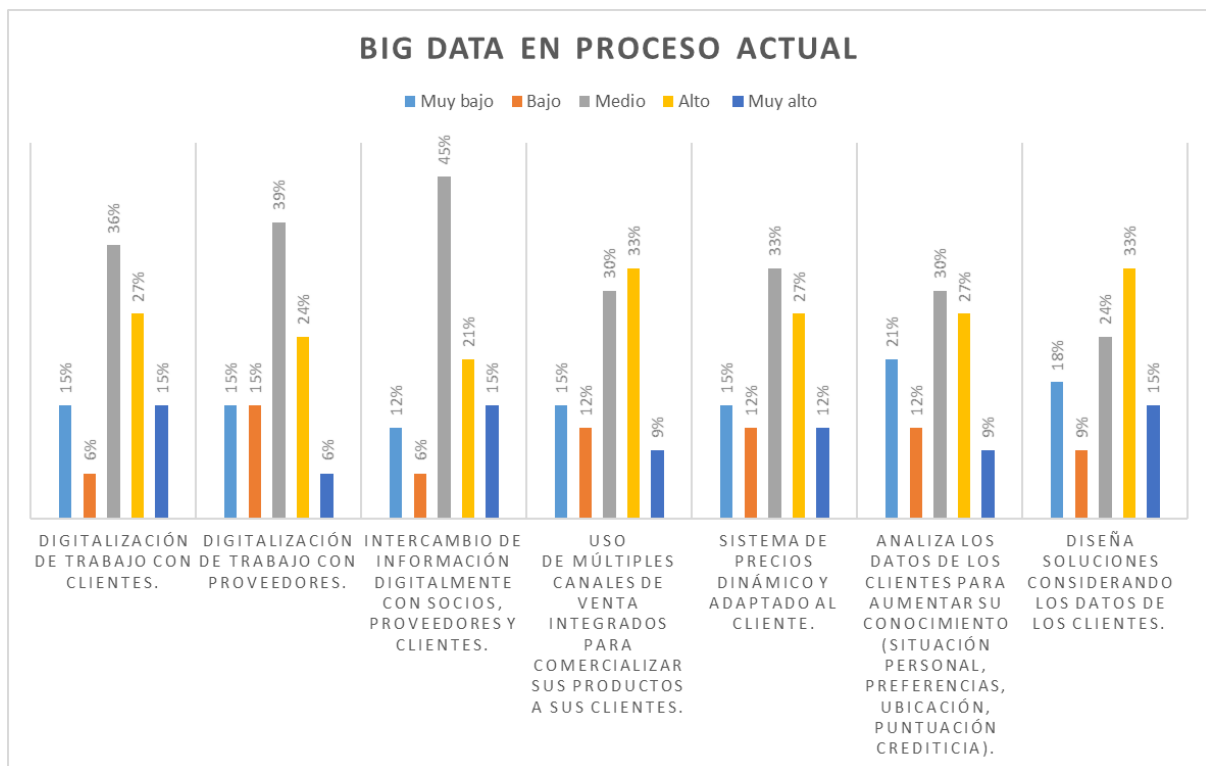
Planificación y dirección de la cadena de suministros

El 21% de las organizaciones no dispone de una planificación integral que abarque desde los clientes hasta los proveedores, mientras que únicamente un 12% implementa este proceso de manera constante. Por otro lado, un 45% cuenta con una planificación parcial, aplicada solo en ciertos casos o áreas específicas. Esta distribución revela que, aunque una parte significativa de las empresas ha avanzado en la gestión de su cadena de suministro, este progreso no es uniforme ni completo, y en muchos casos se apoya en tecnologías que facilitan ciertos aspectos, pero aún no logran integrar todo el proceso de manera sistemática.

Este panorama indica que la mayoría de las organizaciones enfrentan retos importantes para consolidar una planificación que conecte de forma integral todos los eslabones de la cadena de suministro, desde la adquisición de insumos hasta la entrega final al cliente. La existencia de una planificación parcial sugiere esfuerzos dispersos que no alcanzan a cubrir la totalidad del sistema logístico, lo que puede generar ineficiencias, retrasos o una menor capacidad para anticipar y mitigar riesgos. Por ello, fortalecer la integración y la continuidad en la planificación es fundamental para lograr una gestión más eficiente y resiliente, que optimice recursos y responda con agilidad a las demandas del mercado. Este análisis resalta la importancia de avanzar hacia modelos de gestión tecnológica más coherentes y permanentes, que permitan a las organizaciones desarrollar una cadena de suministro más sólida y competitiva.

Tabla 4 Interacción Digital en la Producción y Comercialización de Papa

PREGUNTAS	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto	Total
Digitalización de trabajo con clientes.	5	2	12	9	5	33
Digitalización de trabajo con proveedores.	5	5	13	8	2	33
Intercambio de información digitalmente con socios, proveedores y clientes.	4	2	15	7	5	33
Uso de múltiples canales de venta integrados para comercializar sus productos a sus clientes.	5	4	10	11	3	33
Sistema de precios dinámico y adaptado al cliente.	5	4	11	9	4	33
Analiza los datos de los clientes para aumentar su conocimiento (situación personal, preferencias, ubicación, puntuación crediticia).	7	4	10	9	3	33
Diseña soluciones considerando los datos de los clientes.	6	3	8	11	5	33



La aplicación de inteligencia artificial (IA) y Big Data en agricultura se refleja en la digitalización y análisis avanzado de datos que permiten optimizar procesos, mejorar la relación con clientes y proveedores, y generar soluciones personalizadas basadas en información precisa. Los datos proporcionados sobre diferentes aspectos de

digitalización y uso de información muestran un nivel medio a alto en la mayoría de las dimensiones, lo que indica un avance significativo en la adopción tecnológica en el sector agrícola.

Análisis según dimensiones evaluadas

Digitalización en trabajo con clientes:

El 78% de los encuestados manifiesta un nivel significativo de digitalización en su interacción con los clientes, con un 36% ubicado en un nivel medio y un 42% que se encuentra en niveles alto y muy alto. Este dato revela que la mayoría de las organizaciones o profesionales evaluados han avanzado sustancialmente en la incorporación de herramientas y procesos digitales para fortalecer la relación con sus clientes. Tal avance no solo traduce una mayor apertura y adaptación a las tecnologías digitales, sino que además implica mejoras concretas en la comunicación y en la gestión dirigida a comprender mejor las necesidades del cliente y brindar respuestas más oportunas y personalizadas. La elevada proporción de digitalización refleja un proceso de transformación digital que facilita la captación de información, la interacción efectiva y el seguimiento continuo, factores que contribuyen al aumento de la satisfacción y fidelización del cliente. Este comportamiento es indicativo de un entorno empresarial que reconoce la importancia creciente de las estrategias digitales para mantener competencias relevantes y competitivas en un mercado cada vez más digitalizado. Por tanto, el análisis de estos resultados permite afirmar que la digitalización en el trato con los clientes es un elemento clave para mejorar la experiencia del consumidor y fortalecer las relaciones comerciales de manera sostenible.

Digitalización en trabajo con proveedores:

El 69% de los encuestados manifiestan niveles que van desde medio hasta muy alto en la transformación digital de las relaciones con proveedores, desglosándose en un 39% que percibe esta transformación en un nivel medio, un 24% en un nivel alto y un 6% en un nivel muy alto. Este dato refleja que la mayoría de las organizaciones están avanzando en la digitalización de sus vínculos con proveedores, un proceso que resulta clave para optimizar la cadena de suministro, agilizar la comunicación y mejorar la eficiencia operativa. Sin embargo, es importante destacar que este grado de adopción digital, aunque considerable, se encuentra ligeramente por debajo del nivel observado en la transformación digital de la relación con los clientes. Esto puede sugerir que, si bien la digitalización con proveedores es una prioridad, aún existen retos o diferencias en la implementación que

podrían estar relacionadas con la complejidad del ecosistema proveedor o con la naturaleza contractual y operativa de estas interacciones. En suma, estos resultados evidencian un avance significativo hacia la integración digital en las relaciones empresariales, aunque también abren un espacio para profundizar en las causas que generan esta variación en la adopción digital entre proveedores y clientes, lo cual puede ser un tema interesante para explorar en investigaciones futuras.

Intercambio digital de información con socios, proveedores y clientes:

El análisis detallado de estos datos revela que un 81% de los participantes manifiestan niveles significativos de colaboración e integración digital, distribuidos en un 45% con un nivel medio, un 21% con un nivel alto, y un 15% que alcanza un nivel muy alto. Esta composición evidencia una interacción sólida y progresiva entre los distintos actores que conforman la cadena productiva, reflejando un ambiente donde las tecnologías digitales no solo están presentes, sino que se emplean de manera efectiva para facilitar procesos, mejorar la comunicación y fortalecer las relaciones colaborativas. Esta integración tecnológica es indicativa de un entorno dinámico y adaptativo que favorece la eficiencia, la innovación y la sincronía entre las partes involucradas, constituyendo un factor fundamental para la competitividad y el desarrollo sostenible del sistema productivo investigado.

Uso de múltiples canales de venta integrados:

Un 72% se encuentra en niveles medio a muy alto (30%, 33%, 9%), lo que denota una estrategia multicanal integrada, fundamental para llegar a mercados diversos con mayores oportunidades comerciales.

Sistema de programación siembras adaptados al cliente:

El análisis revela que un significativo 72% de adopción en los niveles medio, alto y muy alto (divididos en 33%, 27% y 12% respectivamente) evidencia una tendencia clara hacia la implementación de herramientas analíticas avanzadas. Esto indica que una amplia mayoría de los usuarios o empresas están incorporando sistemas que posibilitan ajustar dinámicamente los precios en función de la demanda del mercado y las preferencias específicas de los consumidores. Este alto grado de adopción no solo refleja un cambio tecnológico, sino también una estrategia competitiva que busca optimizar la toma de decisiones y mejorar la eficiencia comercial. Al aprovechar estas herramientas analíticas, las organizaciones logran responder de manera más efectiva a las

fluctuaciones del mercado, lo que se traduce en un fortalecimiento de su posición competitiva dentro del sector. Este fenómeno es especialmente relevante en entornos donde la precisión en la fijación de precios puede determinar el éxito o fracaso comercial, subrayando la importancia de la tecnología como facilitadora de una gestión más inteligente y adaptativa.

Análisis de datos para conocer mejor a los clientes:

El 66% de los participantes se concentra en niveles medio, alto y muy alto de uso y análisis de datos personales y de comportamiento, distribuidos en un 30%, 27% y 9% respectivamente. Esto indica que, aunque existe una base sólida en la recolección y procesamiento de estos datos, aún hay un margen significativo para fortalecer y avanzar en estas prácticas, lo que podría potenciar la toma de decisiones más informadas y precisas.

Este resultado revela que, si bien una mayoría considerable ya ha incorporado procesos de recopilación y análisis de información relevante, el nivel de aprovechamiento y sofisticación de estas actividades no ha alcanzado su máximo potencial. Por lo tanto, se abre una oportunidad para profundizar en el desarrollo de capacidades analíticas, optimizar herramientas y mejorar el manejo ético y eficiente de la información personal y conductual. Adoptar estas mejoras no solo contribuye a una comprensión más integral del contexto y comportamiento, sino que también fortalece la capacidad estratégica y adaptativa de la organización o sistema estudiado, haciendo que la gestión de datos evolucione hacia un nivel más avanzado y útil para los objetivos de la investigación o aplicación práctica.

Diseño de soluciones considerando datos de clientes:

El 72% de las organizaciones presentan niveles de implementación de inteligencia artificial que van desde medio hasta muy alto, distribuyéndose en un 24% con un nivel medio, un 33% con un nivel alto y un 15% con un nivel muy alto. Este dato refleja un grado significativo de integración tecnológica en sus procesos, evidenciando que una mayoría considerable ha avanzado más allá de las etapas iniciales de adopción, alcanzando niveles donde la inteligencia artificial ya incide de manera sustancial en la personalización y el desarrollo de productos o servicios.

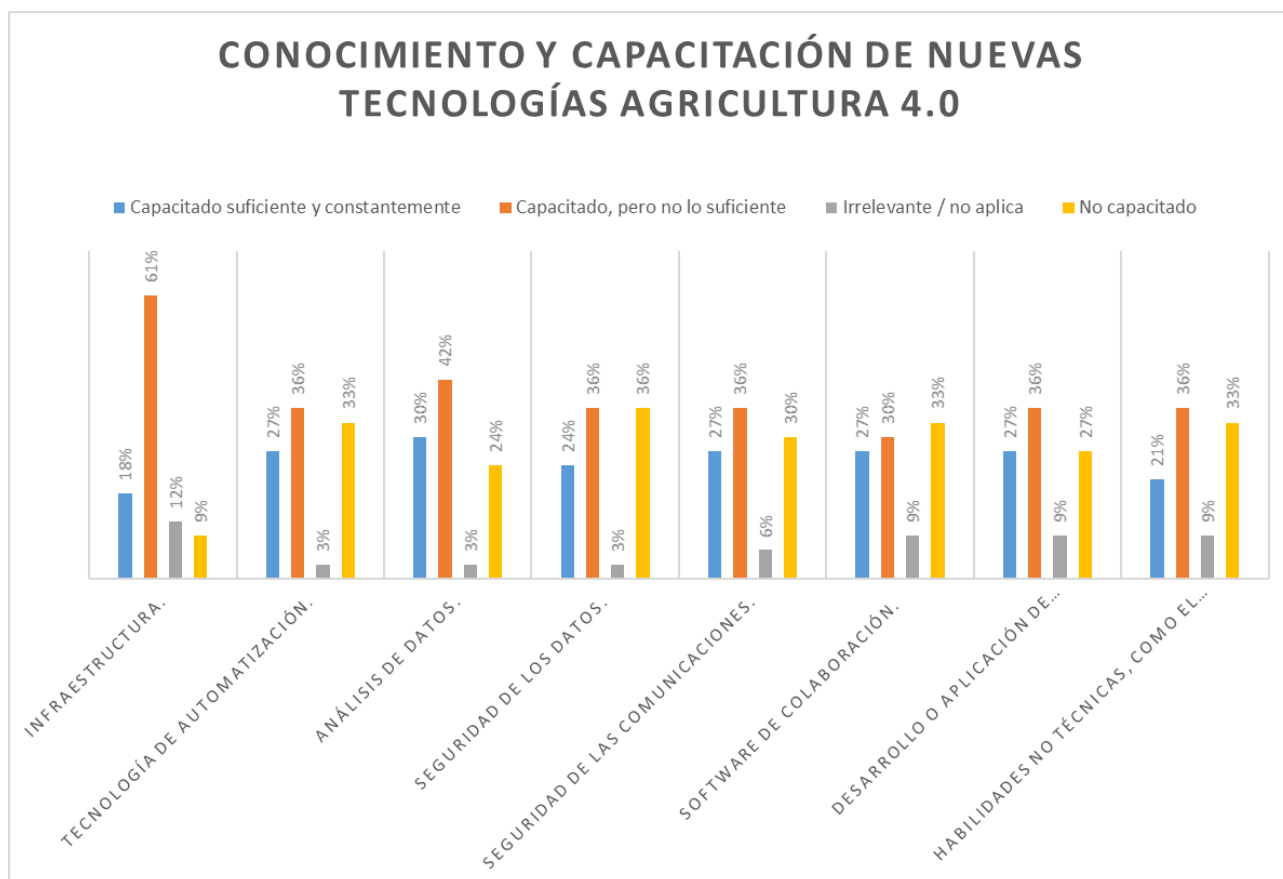
Profundizando en este análisis, es importante entender que contar con un nivel medio a muy alto de implementación no solo implica la utilización básica de tecnologías, sino una adopción estratégica y adaptativa

que permite a estas organizaciones responder con mayor precisión a las necesidades específicas del mercado y de sus clientes. Este grado de madurez en la aplicación de inteligencia artificial facilita la creación de soluciones más inteligentes, eficientes y ajustadas a contextos cambiantes, aportando ventajas competitivas sustantivas. Así, el porcentaje mencionado no solo representa una cifra estadística, sino la manifestación de un proceso de transformación digital que está generando un impacto real y tangible en la forma en que las organizaciones innovan y entregan valor, posicionándose en la vanguardia tecnológica.

Este contexto evidencia que la IA y el Big Data están siendo herramientas clave para modernizar la agricultura, mejorar la competitividad, y fomentar relaciones comerciales más eficientes y adaptadas a las demandas actuales. Sin embargo, se recomienda continuar impulsando la capacitación y la inversión tecnológica para superar limitaciones actuales en análisis de datos y soluciones inteligentes.

Tabla 5 Diagnóstico de Capacidades Digitales para la Transformación Agrícola en Boyacá

PREGUNTAS	Capacitado suficiente y constantemente	Capacitado, pero no lo suficiente	Irrelevante / no aplica	No capacitado
Infraestructura.	18%	61%	12%	9%
Tecnología de automatización.	27%	36%	3%	33%
Análisis de datos.	30%	42%	3%	24%
Seguridad de los datos.	24%	36%	3%	36%
Seguridad de las comunicaciones.	27%	36%	6%	30%
Software de colaboración.	27%	30%	9%	33%
Desarrollo o aplicación de sistemas de asistencia.	27%	36%	9%	27%
Habilidades no técnicas, como el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos.	21%	36%	9%	33%



Infraestructura

El análisis sobre la capacitación en infraestructura revela que el 61% de los encuestados reconoce haber recibido formación, aunque la consideran insuficiente para sus necesidades. Este dato refleja un interés pronunciado en profundizar y fortalecer sus conocimientos en esta área clave. Por otro lado, apenas un 18% se percibe con una capacitación adecuada y satisfactoria. Esta distribución evidencia una brecha importante entre el nivel actual y el nivel óptimo deseado de capacitación. Finalmente, un 12% considera que la capacitación en infraestructura es irrelevante o no aplicable a su función, mientras que un 9% declara no haber recibido ninguna formación al respecto. Este panorama subraya la necesidad de diseñar estrategias de formación más efectivas y accesibles para cerrar esta brecha.

Análisis de Capacitación en Áreas Tecnológicas y Habilidades No Técnicas

En el presente estudio se evaluó el nivel de capacitación de los participantes en diferentes áreas clave relacionadas con tecnología y competencias complementarias, con el objetivo de identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora en los procesos formativos.

Tecnología de Automatización

El 27% de los encuestados señaló estar capacitado de manera suficiente y constante en tecnología de automatización, mientras que un 36% indicó haber recibido capacitación, aunque considera que no es suficiente. Por otro lado, un 33% reconoció no contar con ningún tipo de formación en esta área, y apenas un 3% la consideró irrelevante.

Este equilibrio entre los capacitados y aquellos con formación insuficiente (totalizando un 63%) refleja un interés y reconocimiento claros hacia el campo de automatización. Sin embargo, el hecho de que un tercio de la muestra carezca de capacitación evidencia una necesidad significativa de fortalecer los programas formativos para cubrir esta brecha.

Análisis de Datos

El análisis de datos es el área con el mayor porcentaje de personas que se consideran suficientemente capacitadas (30%). Adicionalmente, un 42% ha recibido capacitación, aunque no en un nivel óptimo. El 24% no cuenta con preparación alguna, y solo un 3% desestima la relevancia de esta temática.

A pesar de los avances, la suma de quienes no están totalmente competentes o carecen de capacitación completa (66%) alerta sobre la importancia de continuar desarrollando programas educativos que respondan a las demandas actuales. La baja proporción que considera esta área irrelevante subraya su importancia estratégica para la mayoría.

Seguridad de los Datos

La seguridad de los datos emerge como una de las áreas con mayores deficiencias de capacitación: únicamente el 24% se siente suficientemente capacitado, mientras que un 36% señaló no contar con formación en esta materia, y otro 36% considera que la capacitación es insuficiente. El 3% restante la considera irrelevante.

Dada la creciente valoración estratégica de la protección y privacidad de la información, este balance indica una urgencia en la implementación de capacitaciones especializadas que garanticen competencias sólidas en seguridad de datos.

Seguridad de las Comunicaciones

En seguridad de las comunicaciones, un 27% cuenta con una capacitación adecuada y constante, y un 36% ha recibido formación, aunque con limitaciones. El 30% no está capacitado, y un 6% lo considera irrelevante.

Aunque la proporción de capacitados es ligeramente superior a la de seguridad de datos, el déficit de habilidades aún es notable, especialmente en un contexto donde la protección de la información durante las comunicaciones es vital para la operación segura de cualquier organización.

Software de Colaboración

Las competencias en software colaborativo presentan una distribución equilibrada: el 27% se siente suficientemente capacitado, otro 30% reconoce una capacitación parcial, y un 33% no ha recibido formación. En este caso, un 9% considera esta área irrelevante, probablemente debido a diferencias en las funciones laborales o contextos de trabajo.

Estos resultados muestran la necesidad de promover no solo la capacitación técnica, sino también la concienciación sobre la importancia del uso adecuado de estas herramientas para mejorar la cooperación y productividad.

Desarrollo o Aplicación de Sistemas de Asistencia

Este ámbito presenta un patrón similar al anterior, con un 27% completamente capacitado, un 36% con capacitación parcial, un 27% sin formación, y un 9% que considera irrelevante esta área.

Aunque la mayoría reconoce la importancia de estos sistemas, la insuficiencia de capacitación completa subraya la necesidad de ampliar y profundizar la formación para alcanzar niveles óptimos de competencia.

Habilidades No Técnicas: Pensamiento Sistémico y Comprensión de Procesos

Las habilidades no técnicas, fundamentales para el manejo integral y eficiente de los procesos, evidencian uno de los mayores niveles de falta de capacitación, con un 33% sin formación y solo un 21% que se considera suficientemente capacitado. Un 36% cuenta con capacitación parcial y un 9% considera irrelevante este aspecto.

Este hallazgo pone en evidencia la importancia de desarrollar estrategias educativas que fomenten el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos, elementos esenciales para la gestión efectiva en entornos complejos.

Resumen y Reflexiones Finales

Las áreas con mayores niveles de capacitación adecuada son análisis de datos (30%) y tecnología de automatización (27%), lo que indica avances en campos tecnológicos estratégicos. Por otro lado, la seguridad de datos (36%) y habilidades no técnicas (33%) representan las principales áreas con déficit formativo, señalando puntos críticos para priorizar recursos y esfuerzos educativos.

PREGUNTAS	No registra información de los procesos.	Algunos procesos se registran en papel y otros están digitalizados.	Todos los procesos están completamente digitalizados.	Todos los procesos se registran en papel.
¿Cómo realiza la organización el registro de la información generada por los procesos (producción, comercial, calidad, mantenimiento, administración, etc.)?	9%	42%	36%	12%

El sector agropecuario presenta una limitada incorporación de tecnologías para el registro sistemático de la información generada en sus actividades. Las organizaciones dedicadas a este sector gestionan sus datos operativos con variadas prácticas, reflejando diferentes niveles de adopción tecnológica. Según los registros, un 42% de estas organizaciones utiliza un método mixto, combinando formatos tradicionales en papel con sistemas digitales para documentar procesos en áreas como producción, comercialización, calidad, mantenimiento y administración. Por otro lado, un 36% ha logrado una digitalización completa, lo que permite un acceso más rápido y seguro a la información, facilitando así la gestión y el análisis de datos.

No obstante, un 12% aún mantiene sus registros exclusivamente en papel, lo que genera dificultades relacionadas con la eficiencia, el almacenamiento y la seguridad de la información. Además, un 9% de las organizaciones carece de un sistema formal para el registro de datos procesales, evidenciando una importante oportunidad de mejora en la gestión documental y el control interno.

Este panorama demuestra que, aunque la digitalización va en aumento, su adopción no es todavía homogénea en el sector agropecuario, afectando directamente la calidad de la gestión y la capacidad para tomar decisiones estratégicas basadas en datos confiables y oportunos.

5.1.3 Presentación de revisión bibliografía estado del arte.

5.2 Propuesta al sector

Según (Zhai, Martínez, Beltran, & Martínez, 2020), la demanda global de alimentos está presionando mucho a la agricultura, que debe aumentar la producción, cuidar el medio ambiente y adaptarse al cambio climático. Por eso surge la Agricultura 4.0, que usa tecnologías digitales para mejorar la eficiencia, reducir el desperdicio y aprovechar mejor los recursos. Gracias a la gran cantidad de datos sobre clima, suelo y mercado, los agricultores pueden tomar mejores decisiones y obtener mejores resultados. Este artículo revisa sistemas que ya apoyan la toma de decisiones en áreas como la agricultura, el manejo del agua y el control de alimentos, evaluando su integración, escalabilidad y facilidad de uso. La conclusión es que, aunque hay retos, la agricultura del futuro tiene muchas oportunidades para innovar y mejorar.

5.2.1 Fortalecimiento institucional y de capacidades técnicas.

Es fundamental fortalecer y expandir los programas de formación continua enfocados en áreas clave como la inteligencia artificial, el Big Data y la agricultura digital, orientados específicamente a productores, técnicos y gestores del ámbito agrícola. Estos programas deben incorporar una combinación equilibrada de teoría y práctica, con módulos diseñados para abordar temas esenciales como el análisis avanzado de datos, la aplicación de algoritmos predictivos y las estrategias de seguridad digital. Además, resulta crucial que dichas iniciativas se desarrollen en estrecha colaboración con universidades y organizaciones especializadas en el sector agropecuario, fomentando así la transferencia de conocimientos y garantizando que los contenidos estén alineados con las necesidades reales del campo y las tendencias tecnológicas emergentes.

5.2.2 Innovación tecnológica aplicada y transferencia de conocimiento.

El desarrollar proyectos piloto demostrativos enfocados en la implementación de una planificación inteligente y sostenida del cultivo de papa, utilizando tecnologías avanzadas como sensores de suelo y clima, sistemas de información geográfica (SIG) que permitan la cartografía precisa de los terrenos y la monitorización en tiempo real, así como modelos predictivos que integren variables climáticas, características del suelo y condiciones del mercado para optimizar la toma de decisiones agrícolas. Estos proyectos tendrán como objetivo no solo experimentar con estas tecnologías en entornos controlados o comunidades rurales seleccionadas, sino también evaluar y ajustar sus aplicaciones para garantizar su viabilidad y efectividad a largo plazo. Una parte esencial del proceso será la socialización y difusión participativa de los resultados, mediante talleres, reuniones y actividades con las comunidades rurales involucradas, con el fin de fomentar el conocimiento colectivo, promover buenas prácticas agrícolas y facilitar la adopción práctica de estas innovaciones. De esta forma, se busca fortalecer la capacidad local para gestionar de manera más eficiente y sostenible la producción de papa, generando un impacto positivo tanto en la productividad como en la economía y el desarrollo rural de la región.

5.2.3 Infraestructura y conectividad rural.

La importancia de un integral orientado a la modernización de la infraestructura tecnológica en el ámbito agrícola implica el desarrollo de estrategias estructuradas que permitan abordar las necesidades específicas de este sector. En primera instancia, resulta fundamental establecer una red de conectividad confiable que garantice el acceso continuo a internet en las zonas rurales, especialmente en aquellas regiones donde las condiciones geográficas dificultan la instalación de tecnologías convencionales. Es imperativo considerar soluciones como redes satelitales y sistemas alternativos que aseguren una cobertura amplia y estable.

Asimismo, el plan debe priorizar la integración de equipos inteligentes en los procesos agrícolas, como sensores avanzados para monitorear condiciones del suelo, estaciones meteorológicas automatizadas y maquinaria agrícola equipada con tecnología IoT. Estos dispositivos permitirán recopilar datos en tiempo real, mejorando la precisión y eficiencia en las labores del sector y contribuyendo a una toma de decisiones más informada.

Por otro lado, se necesita fomentar el desarrollo y uso de plataformas colaborativas digitales destinadas a la gestión efectiva de información. Dichas herramientas no solo deben facilitar el análisis de datos relacionados con la producción agrícola, sino también promover el intercambio de conocimientos entre agricultores, investigadores y expertos tecnológicos. Estas plataformas podrían incluir características como mapas interactivos, análisis predictivo basado en inteligencia artificial y espacios virtuales para capacitación.

El enfoque del plan debe ser holístico, coordinando recursos humanos, técnicos y financieros para garantizar su viabilidad. Además, será indispensable articular acciones entre instituciones gubernamentales, asociaciones agrícolas y empresas privadas para lograr una implementación eficiente. A largo plazo, la combinación de conectividad avanzada, tecnología inteligente y colaboración digital impulsará la sostenibilidad y competitividad del sector agroindustrial mientras atiende las demandas globales de producción alimentaria.

5.2.4 Gobernanza digital y sostenibilidad agroterritorial.

Es fundamental promover el desarrollo de políticas públicas a nivel departamental que impulsen, regulen y fomenten la digitalización dentro del sector agropecuario. Estas políticas deben asegurar que las plataformas implementadas sean interoperables y que la información generada sea trazable. Además, todo el proceso debe estar guiado por principios esenciales como la sostenibilidad, la equidad y la transparencia, garantizando así un impacto positivo y equilibrado en el sector.

5.2.5 Monitoreo, evaluación e indicadores de transformación digital.

El uso de sistemas integrales de seguimiento y evaluación centrados en una estructura robusta fundamentada en indicadores precisos que permitan medir la madurez digital, el grado de automatización y el desempeño productivo de las organizaciones. Este sistema debe incorporar herramientas específicas para monitorear el avance en cada área clave, facilitando la identificación de puntos fuertes y oportunidades de mejora. Asimismo, resulta esencial que estos instrumentos incluyan mecanismos avanzados para analizar datos y generar información valiosa que permita ajustar estrategias según los resultados obtenidos. Con ello, se favorecerá no solo una adopción tecnológica sostenida, sino también una integración eficaz que potencie el crecimiento y la competitividad a largo plazo.

5.3 Discusión

En la actualidad, el sector papero en Boyacá y en Colombia se enfrenta a una situación marcada por la sobreoferta del producto, la fluctuación de los precios y la elevada dependencia de factores climáticos. A pesar de su importancia económica y social, especialmente en aquellos municipios donde la papa es la principal fuente de ingresos rurales, el sistema productivo está atravesando un proceso de transformación que requiere estrategias de gestión más eficientes y sostenibles. En este contexto, la adopción de tecnologías digitales se presenta como una alternativa fundamental para mejorar la competitividad y la resiliencia del sector ante los retos del cambio climático y la inestabilidad del mercado.

El análisis teórico de los resultados sobre la integración de inteligencia artificial (IA) y Big Data en la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá muestra un panorama complejo, pero alentador. Estas tecnologías emergen como motores de transformación que permiten entender el comportamiento del sistema agrícola desde una perspectiva holística, conectando factores técnicos, económicos y sociales. Su implementación no se limita al uso de algoritmos o datos, sino que conlleva un cambio profundo en la manera en que los productores interpretan el territorio, planifican las siembras y se integran a cadenas de valor más interconectadas, sostenibles y orientadas al conocimiento.

La investigación evidencia que los beneficios potenciales de la inteligencia artificial y el Big Data son diversos y de gran relevancia. La capacidad de optimizar la planificación agrícola a través de la integración de variables climáticas, edáficas y de mercado representa una oportunidad decisiva para mitigar la sobreproducción y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. Además, el análisis predictivo de grandes volúmenes de datos fortalece la toma de decisiones fundamentadas en evidencia, reduce la incertidumbre y promueve la transparencia en las relaciones entre agricultores, proveedores y consumidores. Estos avances también facilitan la personalización de las prácticas productivas, fomentando la adaptación tecnológica a las realidades específicas de cada finca y comunidad, lo que potencia la sostenibilidad y la autonomía local.

Sin embargo, las limitaciones estructurales y culturales del contexto boyacense constituyen un reto importante para lograr una adopción tecnológica equitativa y efectiva. Las brechas en formación digital, la baja madurez en el uso de sistemas de información y la desigualdad en infraestructura limitan la apropiación social de

estas herramientas. Asimismo, la persistencia de prácticas tradicionales y el desconocimiento sobre las posibilidades de la inteligencia artificial y el Big Data dificultan la transición hacia modelos agrícolas basados en datos. Por lo tanto, es crucial articular políticas públicas, academia y sector privado en estrategias de alfabetización digital y fortalecimiento de capacidades locales, asegurando así que la tecnología no solo modernice los procesos, sino que también contribuya a construir un futuro agrícola sostenible, informado y participativo para Boyacá.

El avance de las tecnologías de inteligencia artificial (IA) se ha posicionado como una herramienta crucial para enfrentar la creciente demanda de alimentos de una población mundial que se proyecta alcanzará cerca de 10 mil millones para 2050. Según un exhaustivo análisis realizado por (Cavalcante de Oliveira & de Souza e Silva, 2023), se han identificado más de veinte técnicas de IA aplicadas en agricultura, entre las que destacan el aprendizaje automático, las redes neuronales convolucionales, y tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y el manejo de grandes volúmenes de datos (big data). Este cuerpo de investigación resalta cómo estas tecnologías permiten optimizar recursos, mejorar la predicción de rendimientos y facilitar el control de plagas y enfermedades.

Los datos respaldan estas afirmaciones: por ejemplo, en encuestas realizadas a nivel global, se observa que países como India, China y Estados Unidos lideran la adopción de estas tecnologías en la agricultura, con tasas de implementación que superan el 70% en ciertas regiones innovadoras (Cavalcante de Oliveira & de Souza e Silva, 2023). Esto indica un alcance significativo y un impacto tangible en los sistemas productivos más relevantes del mundo. No obstante, los desafíos técnicos, económicos y sociales limitan la adopción masiva de la IA, evidenciados en un 45% de las pequeñas explotaciones agrícolas que aún no tienen acceso a estas herramientas, según datos recopilados por (Lezoche, Hernandez, Alemany Díaz, & Kacprzyk, 2020).

(Cavalcante de Oliveira & de Souza e Silva, 2023), enfatizan la importancia de las pequeñas explotaciones agrícolas, que representan el motor del empleo rural. Estos autores señalan que, a pesar de su rol vital, estas explotaciones se caracterizan por baja eficiencia y una alta vulnerabilidad a factores externos como el clima y la fluctuación del mercado. En su estudio, basado en la revisión de (Rose, Wheeler, Winter, & Charlott, 2021), se proyecta que la integración de la Agricultura 4.0 podría incrementar la sostenibilidad de estas cadenas agroalimentarias, optimizando costos y mejorando el valor de mercado. Entre las tecnologías revisadas, se incluye

la fusión de paradigmas orgánicos y silvopastoriles con la Industria 4.0, lo cual abre un campo multidisciplinario para enfrentar riesgos y fomentar la colaboración en el sector.

Un enfoque más centrado en las PYME agrícolas italianas, estudiadas por de (Annosi, Brunetta, Monti, & Francesco, 2019), destaca que la adopción de tecnologías 4.0 es limitada y lenta. En sus encuestas a propietarios y gerentes, un 60% reconoció que factores como las capacidades gerenciales y la percepción del entorno empresarial fueron determinantes para adoptar tecnologías inteligentes. Esto resalta la necesidad de institucionalizar acompañamiento técnico y profesional para lograr una adopción efectiva, superando la simple disponibilidad tecnológica.

Por otro lado, (Boshkoska, y otros, 2019), presentan un estudio sobre la cadena de valor agroalimentaria (CV) que demuestra cómo la falta de intercambio efectivo de conocimiento entre actores reduce la colaboración y el desarrollo conjunto. Su propuesta de un sistema de apoyo a la toma de decisiones (SAD), basado en aprendizaje automático y tecnologías ontológicas, se validó en cadenas con productos diversos: tomate en Argentina, hoja china en China y brasicáceas en Reino Unido. Este sistema mejoró la transparencia y la interoperabilidad de datos, fortaleciendo la cooperación entre participantes y beneficiando a toda la comunidad.

Finalmente, (García, Torres², & Pérez Pérez, 2021) aportan un análisis cuantitativo de la producción científica sobre IA en agricultura con base en publicaciones indexadas en Scopus. Identifican a China, EE. UU., India y Australia como líderes, destacando la Universidad Agrícola de China como la institución con más aportes. Temas predominantes incluyen agricultura de precisión, agricultura inteligente y sostenible, y tecnologías como IoT, sistemas de apoyo a la decisión y aprendizaje automático. EE. UU. lidera en colaboración entre autores e instituciones, con Gerrit Hoogenboom como figura relevante. Estos elementos evidencian la consolidación de la IA como motor de transformación en el sector agrícola a escala global.

En síntesis, la evidencia recopilada muestra que la inteligencia artificial aporta beneficios claros para la seguridad alimentaria y la modernización agrícola, especialmente en grandes sistemas productivos y en países con alta inversión tecnológica. Sin embargo, la adopción en pequeñas explotaciones enfrenta barreras culturales, gerenciales y de infraestructura que deben abordarse para maximizar su impacto. El desarrollo de sistemas integrados que faciliten la colaboración, junto con el acompañamiento institucional, serán claves para ampliar la

inclusión tecnológica y promover una agricultura sostenible y resiliente a largo plazo. Las tecnologías de inteligencia artificial (IA) se han convertido en herramientas fundamentales para abordar uno de los mayores desafíos actuales: garantizar la seguridad alimentaria en un mundo cuya población se estima alcanzará casi los 10 mil millones de personas para el año 2050. En este contexto, un análisis meticuloso de la literatura científica, basado en un riguroso proceso de selección y evaluación de estudios pertinentes, ha permitido identificar más de veinte técnicas de IA aplicadas en el ámbito agrícola. Entre ellas, destacan el aprendizaje automático, las redes neuronales convolucionales, así como tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y el manejo de grandes volúmenes de datos (big data), tal como subrayan Oliveira y Silva en sus investigaciones (Cavalcante de Oliveira & de Souza e Silva, 2023)

Estos avances tecnológicos están transformando de manera significativa la gestión agrícola. Su implementación permite optimizar el uso de recursos naturales, mejorar la precisión en la predicción de rendimientos y facilitar un control más eficaz de plagas y enfermedades. Según los análisis realizados, esta transformación tiene un alcance global con una contribución importante de países como India, China y Estados Unidos, que se posicionan a la vanguardia en la incorporación de estas tecnologías en sus sistemas productivos.

No obstante, a pesar de sus claros beneficios, existen desafíos importantes que limitan la adopción masiva de la inteligencia artificial en la agricultura. Entre ellos, se encuentran aspectos técnicos, económicos y sociales que requieren atención para facilitar un despliegue más amplio y efectivo. También se observan tendencias emergentes e innovadoras que abren nuevas perspectivas para avanzar hacia un desarrollo agrícola sostenible, alineado con objetivos ambientales y económicos a largo plazo.

Este enfoque analítico y cercano, inspirado en las contribuciones de Oliveira y Silva, invita a reflexionar sobre el potencial transformador de la IA en la agricultura y la necesidad de superar las barreras actuales para maximizar su impacto positivo en la seguridad alimentaria mundial.

Según investigadores como (Cavalcante de Oliveira & de Souza e Silva, 2023), el estudio de la Agroalimentación 4.0 destaca la importancia crucial de las pequeñas explotaciones agrícolas como motor del empleo rural y desarrollo territorial, aunque tradicionalmente han mostrado baja eficiencia y vulnerabilidad a factores externos como el clima y el mercado. Estos autores señalan que la transferencia cultural del conocimiento

agrícola no siempre satisface las demandas contemporáneas de las cadenas de suministro agroalimentarias, que integran desde la producción hasta el procesamiento y comercialización de alimentos. Ante este panorama, la Agricultura 4.0 emerge como una solución tecnológica avanzada destinada a incrementar la sostenibilidad y rentabilidad de estas cadenas, optimizando los costos y el valor de mercado, según predicciones de Eurostat para 2026. El enfoque industrial europeo y norteamericano permite fusionar la Industria 4.0 con la agricultura, adaptándose también a paradigmas orgánicos y silvopastoriles, lo que abre un campo multidisciplinario para afrontar retos como la gestión de riesgos, la colaboración y la sostenibilidad. Así, el artículo revisa exhaustivamente tecnologías digitales y métodos innovadores aplicados a la cadena de suministro agroalimentaria, aportando una visión comprensiva y prospectiva para la investigación futura en este ámbito.

El estudio de (Annosi, Brunetta, Monti, & Francesco, 2019) examina cómo la agricultura inteligente y las tecnologías 4.0 ofrecen beneficios significativos a las pequeñas y medianas empresas agrícolas (PYME), aunque su adopción aún es limitada y lenta. A través de un análisis basado en encuestas a propietarios y gerentes de PYME agrícolas italianas, los autores evidencian que más allá de la adopción tecnológica, resulta fundamental la percepción subjetiva de estos actores sobre las oportunidades, así como las capacidades organizativas internas y el entorno externo que puede facilitar o restringir esta adopción. Los hallazgos resaltan que las capacidades de gestión, la cognición gerencial y la percepción de un entorno empresarial de apoyo son factores clave para integrar las tecnologías 4.0, apuntando a la importancia de un conocimiento basado en evidencia y del acompañamiento institucional o profesional para fomentar la innovación tecnológica en el sector agrícola.

El estudio de (Boshkoska, y otros, 2019) y su equipo nos explica de manera sencilla y cercana cómo funciona una cadena de valor agroalimentaria (CV) y por qué es clave mejorar el intercambio de conocimiento entre sus distintos actores. Una CV agroalimentaria agrupa actividades dedicadas a comercializar productos valiosos, pero el flujo de información suele estancarse dentro de cada organización, lo que limita la colaboración. Para superar este obstáculo, el estudio propone un sistema de apoyo a la toma de decisiones (SAD) que identifica barreras en el intercambio de conocimientos mediante técnicas de aprendizaje automático y tecnologías ontológicas, y luego ofrece evaluaciones y recomendaciones para mejorar la comunicación entre los participantes. Este sistema se probó en cadenas de valor muy diferentes, como el tomate en Argentina, la hoja china en China y

las brassicáceas en el Reino Unido, demostrando que aumentar la transparencia y la interoperabilidad de datos entre organizaciones fortalece la colaboración y trae beneficios a toda la comunidad involucrada.

Finalmente el estudio de (García, Torres², & Pérez Pérez, 2021) ,analiza el estado actual de la investigación sobre la aplicación de la inteligencia artificial en la agricultura, destacando su contribución al aumento de la productividad y a la promoción de la sostenibilidad frente al cambio climático. A través de un análisis bibliométrico realizado en la base de datos Scopus, se identifican como países líderes en este campo a China, Estados Unidos, India y Australia, siendo especialmente notable la cooperación internacional del primero. La Universidad Agrícola de China sobresale por su alto número de publicaciones, mientras que Gerrit Hoogenboom, de la Universidad de Florida, se distingue como uno de los autores más influyentes. Las principales líneas de investigación se orientan hacia la agricultura de precisión, la agricultura inteligente y la integración de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), los sistemas de apoyo a la toma de decisiones y el aprendizaje automático.

6. CONCLUSIONES

La investigación confirma que la incorporación de inteligencia artificial (IA) y Big Data en la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá constituye una estrategia viable y transformadora para fortalecer la sostenibilidad agrícola. Los resultados evidencian que, aunque el sector presenta avances moderados en digitalización (hasta un 78% en algunos procesos), persisten brechas significativas en capacitación, adopción tecnológica y gestión de información que limitan la efectividad de la toma de decisiones. La propuesta resultante plantea un modelo integral que combina la analítica de datos, las políticas públicas y el conocimiento tradicional campesino como ejes complementarios para optimizar la gestión agrícola regional.

El objetivo principal del estudio, desarrollar una propuesta para optimizar la planificación y programación de cultivos de papa mediante el uso de IA y Big Data, se logró a través del diseño de un marco técnico y metodológico que combina tecnologías avanzadas con los contextos socioculturales específicos de la región. Este enfoque contribuye a potenciar la capacidad de predicción en el sector agrícola, incrementar la eficiencia productiva y promover decisiones más sostenibles, fundamentadas tanto en evidencia científica como en el conocimiento práctico de los productores locales.

En el análisis de las condiciones actuales de la planificación agrícola, el estudio destaca que la producción de papa en Boyacá enfrenta problemas estructurales relacionados con la descoordinación en la oferta, la sobreproducción y una limitada digitalización operativa. A pesar de que el 81 % de las empresas utiliza herramientas digitales y un 72 % implementa sistemas de programación de siembras orientados al cliente, solo el 36 % recurre a indicadores tecnológicos formales y menos del 40 % emplea sistemas de información de forma constante. Esto pone de manifiesto una adopción parcial y dispersa de tecnologías, lo que subraya la necesidad de establecer políticas públicas a largo plazo y promover una colaboración efectiva entre instituciones.

En el proceso de identificar las herramientas más adecuadas relacionadas con la inteligencia artificial y el análisis de Big Data, se llevó a cabo un exhaustivo estudio que incluyó tanto análisis cuantitativos como cualitativos. Esto permitió concluir que los modelos basados en agentes, junto con los algoritmos predictivos aplicados a ámbitos específicos como el análisis de datos climáticos, características del suelo y dinámicas del mercado, destacan como las propuestas más relevantes y prometedoras para abordar las necesidades particulares

de la región. No obstante, la implementación efectiva de estas herramientas enfrenta ciertos desafíos clave. Principalmente, se requieren esfuerzos significativos para reforzar la infraestructura tecnológica existente, aumentar los niveles de alfabetización digital en las comunidades, y garantizar una integración eficiente y armoniosa de los datos provenientes de diversas fuentes.

Por otra parte, los resultados obtenidos en el estudio indican que aproximadamente el 72% de las áreas evaluadas presentan niveles de adopción de inteligencia artificial clasificados entre medios y altos. Este dato sugiere una oportunidad significativa para la expansión y optimización de estas tecnologías siempre que se acompañen de iniciativas complementarias. Estas incluyen programas educativos orientados a la formación en nuevas competencias digitales, así como estrategias de financiamiento dirigidas específicamente al ámbito rural con el fin de reducir posibles brechas tecnológicas y económicas. En conjunto, estos esfuerzos podrían fomentar un ecosistema más robusto y accesible para la aplicación eficiente de soluciones basadas en IA y Big Data en la región mencionada.

La investigación demuestra que la digitalización y el análisis de datos aplicados a la producción de papa generan beneficios significativos en los ámbitos social, económico y ambiental. La implementación de inteligencia artificial contribuye a incrementar la eficiencia en la producción, minimizar las pérdidas y optimizar el uso de recursos naturales, favoreciendo la sostenibilidad y ayudando a mitigar los impactos negativos del cambio climático. A su vez, estos desarrollos refuerzan la estabilidad económica de los agricultores y fomentan la equidad territorial a través de un crecimiento comunitario basado en el conocimiento y la innovación colaborativa.

Desde un enfoque metodológico, se empleó una aproximación mixta que integró la precisión del análisis cuantitativo con una evaluación social del impacto tecnológico. Este enfoque demostró que la combinación de inteligencia artificial y Big Data con el conocimiento local y el respaldo institucional refuerza significativamente la planificación agrícola. En el ámbito de la gobernanza, los hallazgos subrayan la imperante necesidad de diseñar políticas públicas enfocadas en mejorar la infraestructura digital, promover la interoperabilidad y potenciar la capacitación en las zonas rurales. De este modo, Boyacá se presenta como un referente en agricultura inteligente, siempre que la transformación digital se sustente en principios de inclusión, sostenibilidad y equilibrio territorial.

7. Referencias

- Abuchaibe, M. J., & Gómez, D. X. (2021). *El desarrollo tecnológico y digital ha avanzado a un ritmo significativo a nivel global, sin embargo, en el contexto colombiano, la ausencia de tecnologías adecuadas en el sector rural representa un gran desafío. Esta brecha tecnológica limita considerabl*. Bucaramanga. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12749/16261>
- Acevedo Argüello, C., Zabala Vargas, S., Rojas Mesa, J., & Guayán Perdomo, O. (2020). Análisis de Redes Sociales como estrategia para estudiar los Sistemas de Innovación. Revisión sistemática de la literatura. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 13(2), 369-402. <https://doi.org/10.15332/s1657-107X>
- Annosi, M. C., Brunetta, F., Monti, A., & Francesco, N. (2019). ¿Es la tendencia tu aliada? Un análisis de las decisiones de inversión en tecnología 4.0 en pymes agrícolas. páginas 59-71. *Las computadoras en la industria*, 59-71. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.003>
- Arrieta, G. C. (2019). Elementos diagnósticos en el sector agropecuario: caso de la producción de papa en Boyacá Diagnostic elements in the agricultural sector: the case of potato production in Boyacá. *Nova et Vetera*, 28,, 3-20. Obtenido de <https://doi.org/10.22431/25005103.n28.1>
- Balaji, P., & Dakshayini, M. (2020). An Effective Multiple Linear Regression-Based Forecasting Model for Demand-Based Constructive Farming. *IGI Global Scientific Publishing Platform*. Obtenido de <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Balducci, F., Impedovo, D., & Pirlo, G. (28 de junio de 2018). Machine Learning Applications on Agricultural Datasets for Smart Farm Enhancement. *Dinámica de Sistemas Multicuerpo*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/machines6030038>
- Bekee, B., Segovia, M. S., & Valdivia, C. (2024). Adopción de redes agrícolas inteligentes: un proceso translacional para informar las tecnologías agrícolas digitales (pp 1573–1590). *Agricultura y valores humanos*, 1573–1590.
- Belaud, J.-P., Prioux, N., Vialle, C., & Sablayrolles, C. (2019). Big data para la agroalimentación 4.0: Aplicación a la gestión de la sostenibilidad de la cadena de suministro de subproductos pp 41-50. *Las computadoras en la industria*, 41-50. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.006>
- Bellon-Maurel, V., Lutton, E., Bisquert, P., & otros, y. (2022). Revolución digital para la transición agroecológica de los sistemas alimentarios: una perspectiva de investigación e innovación responsable. *Sistemas agrícolas*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103524>
- Berna, I. T. (2022). *Administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (Quinta edición colombiana ed.). Mexico: Pearson Educación de México, S.A.
- Bertoni, M., & López, M. J. (2025). Actitudes y comportamientos ambientales de residentes y turistas de Miramar, Buenos Aires (Argentina). *Letras Verdes*(35).

- Bhat, I. A., Ahmad, F., Sheikh, A., & Sidana, S. (2025). Leveraging artificial intelligence in agribusiness: a structured review of strategic management practices and future prospects. *la Revista de Sostenibilidad*. Obtenido de <https://www-scopus-com.ezproxy.uniminuto.edu/pages/publications/105009899330?origin=resultslist>
- Bhat, I. A., Ansarullah, S. I., Ahmad, F., Amir, S., & Sidana, S. (2025). Leveraging artificial intelligence in agribusiness: a structured review of strategic management practices and future prospects. *la Revista de Sostenibilidad*. doi:10.1007/s43621-025-01260-3
- BID Invest. (2020). <https://fairlac.iadb.org/>. Obtenido de <https://fairlac.iadb.org/uso-de-la-ia-en-la-agricultura-de-precision-para-una-cuenca-del-desierto-de-chihuahua-mexico>
- Boshkoska, B. M., Liu, S., Zhao, G., Fernández, A., Gamboa, S., del Pino, M., . . . Chen, H. (2019). Un sistema de apoyo a la toma de decisiones para la evaluación del intercambio de conocimientos a través de las fronteras en las cadenas de valor agroalimentarias páginas 64-80. *Las computadoras en la industria*, 64-80. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361518305773>
- Brewster, C., Roussaki, I. R., Kalatzis, N., Doolin, K., & Ellis, K. (2017). IoT in Agriculture: Designing a Europe-Wide Large-Scale Pilot pp 26 - 33. *IEEE Communications Magazine*, 26 - 33.
- Cavalcante de Oliveira, R., & de Souza e Silva, R. D. (2023). Inteligencia artificial en la agricultura: beneficios, desafíos y tendencias. *applied sciences*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/app13137405>
- Céspedes, J.-M. S., Miranda, J.-P. R., & Parra, J. (2022). Application of Artificial Intelligence in the Formulation of Public Policies Related to the Agricultural Vocation of the Regions. *Revista científica* . Obtenido de <https://doi.org/10.14483/23448350.18576>
- cielo. (s.f.).
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA. (2012). *LEY ESTATUTARIA 1581 DE 2012*. Diario Oficial No. 48.587 de 18 de octubre de 2012.
- Corpus, A. G. (2019). Elementos diagnósticos en el sector agropecuario: caso de la producción de papa en Boyacá. *Nova et Vetera*. Obtenido de <https://doi.org/10.22431/25005103.n28.1>
- Dakshayini, M., & Prabhu, B. V. (2014). An Effective Big Data and Blockchain (BD-BC) Based Decision Support Model for Sustainable Agriculture System. *springer Nature*. Obtenido de <https://link.springer.com/series/15427>
- Diaz, M. J., Salcedo, D., Mercado, T., Quiñonez, Y., & Mejia, d. I. (2024). Internet of Things (IoT) applied to agriculture: current state and its application through a prototype (pp 106-121. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 106-121. Obtenido de RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação: <https://scielo.pt/pdf/rist/n53/1646-9895-rist-53-106.pdf>
- Divya Nimma, J. A., Sachin, D. K., Pradeep, J., & y Mahesh, S. (2025). Optimización del rendimiento de los cultivos en la agricultura sostenible: aplicación de análisis de big data e inteligencia artificial. *Springer Nature* .
- El Congreso de Colombia. (2025). *Ley 2502 de 2025*. bogota : DIARIO OFICIAL.

- Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). (2020). <https://www.dane.gov.co/>. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/presentacion-ena-boyaca-2019.pdf>
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2025). *Hacer frente a la inflación alta de los precios de los alimentos en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición*. ROMA ITALIA: FAO; FIDA; OMS; PMA; UNICEF. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd6015es>
- FEDEPAPA. (2023). *FEDEPAPA*. Obtenido de <https://fedepapa.com/home/wp-content/uploads/2024/10/Regional-Boyaca.pdf>
- Figueroa, Ó. B., Robles, M. A., Monroy, J. A., & Hinestroza, A. D. (2023). An active search for solutions in agricultural systems: A decision analysis perspective. *Fundación Universitaria Konrad Lorenz*. Obtenido de <https://doi.org/10.14349/sumneg/2022.v13.n28.a8>
- Fraser, E. (2019). Agricultura 5.0: Conciliar la producción con la salud del planeta pp 278-280. *Una Tierra 1(3)*;, 278-280. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/337460428_Agriculture_50_Reconciling_Production_with_Planetary_Health
- García, V. J., Torres², R. S., & Pérez Pérez, D. B. (2021). Análisis cuantitativo de la aplicación de la inteligencia artificial en la agricultura pp 55-62. *Revista de Investigación Cuantitativa*, pp 55-62. Obtenido de <https://jcsires.org/article/401>
- Hai-Jew, S. (2024). *Enhancing Automated Decision-Making Through AI pp451-492*. Hutchinson Community College, USA: IGI Global Scientific Publishing Platform.
- Hernandez, R. S., & Mendoza, T. C. (2018). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*. MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C. V.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. M. (2010). *Metodología de la Investigación 5ta edición* (Vol. 5). Mexico. Obtenido de https://www.academia.edu/20792455/Metodolog%C3%ADa_de_la_Investigaci%C3%B3n_5ta_edici%C3%B3n_Roberto_Hern%C3%A1ndez_Sampieri
- Higuera, J. M. (2025). *AGRONEGOCIOS*. Obtenido de <https://www.agronegocios.co/agricultura/los-cultivadores-de-papa-estan-pasando-las-duras-y-maduras-4200506>
- INFORMATICA SPA ENGINEERING - INGEGNERIA. (2021). <https://cordis.europa.eu/>. Obtenido de <https://cordis.europa.eu/article/id/454267-improving-europe-s-precision-agriculture-with-ai/es>
- Jaimes-Quintanilla, M., & Zabala-Vargas, S. (2024). Inteligencia artificial en la gestión de proyectos: Caso construcción y obra civil. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-21. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1615>
- Jaimes-Quintanilla, M., & Zabala-Vargas, S. (2025). Apropiación de tecnologías emergentes en el sector de obra civil: Un análisis cualitativo. En *Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era Edición 4* (4.a ed.). Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. 10.5281/zenodo.17831487

- Janampa, F., & Liz, P. (2013). *Cadena productiva de papas nativas : estrategia de inserción ventajosa de pequeños productores de la mancomunidad municipal del Yacus Jauja-Junín a mercados dinámicos*. Junín: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/items/b04b73c4-c4f3-42ec-8b30-14600d03fff9>
- Javaid, M., Haleem, A., I Khan, b. H., & Suman, R. (2023). *Comprender las posibles aplicaciones de la Inteligencia Artificial en el sector agrícola pp 15-30*. Boston: Agroquímica avanzada. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.aac.2022.10.001>
- Jiménez, B. J., & Urrea, U. C. (2025). *Impacto del cambio climático en la producción agrícola colombiana: análisis histórico*. Bogota.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Aprendizaje profundo en la agricultura: una encuesta. *Computadoras y electrónica en la agricultura pp 70-90, 70-90*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>
- LEGISLATIVA, R. (2019). <http://www.secretariasenado.gov.co/>. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1978_2019.html: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1978_2019.html
- Lezoche, M., Hernandez, J. E., Alemany Díaz, M. d., & Kacprzyk, H. P. (2020). Mario Lezoche, Jorge E. Hernandez, María del Mar Eva Alemany Díaz, Hervé Panetto y Janusz Kacprzyk. *Computers in Industry*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>
- Lytos, A., Lagkas, T., Sarigiannidis, P., Zervakis, M., & Livanos, G. (2020). Hacia una agricultura inteligente: sistemas, marcos y explotación de múltiples fuentes. *elsevier*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107147>
- Mario, L., Hernandez, J. E., Alemany, D. M., & Panetto, H. (2020). Agroalimentación 4.0: Un estudio sobre las cadenas de suministro y tecnologías para la agricultura del futuro. *Las computadoras en la industria*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>
- Martos, R. L., & Medina, C. G. (2022). Actitudes ambientales y educación ambiental en tiempos de pandemia en estudiantes de contabilidad de una universidad privada. *Ciencia latina Revista multidisciplinaria*(6).
- MEJÍA JIMÉNEZ, J. (2012). Modelos de implementación de las políticas públicas en Colombia y su impacto en el bienestar social. *Analecta Política, 2*(3), 141-164., 141-164.
- Mier-Goyes, M. L., González-Salazar, A. M., & Pinzón-Ubaque, A. G. (2024). *Vigilancia 2.0: Intervención estratégica para superar desafíos en la formación en seguridad privada*. Bogotá: Universidad EAN.
- minagricultura. (2020). <https://sioc.minagricultura.gov.co/>. Obtenido de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2020-09-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2020-09-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Mohd, J., Abid, H., Khan, I. H., & Rajiv, S. c. (2023). Understanding the potential applications of Artificial Intelligence in Agriculture Sector. *Advanced Agrochem*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.aac.2022.10.001>

- Montesinos, L. O. (2014). *Inteligencia Artificial (IA) en Agricultura*. Obtenido de https://www.researchgate.net/https://www.researchgate.net/publication/381341917_Inteligencia_Artificial_IA_en_Agricultura
- Ojeda, B. A. (marzo de 2022). Plataformas Tecnológicas en la Agricultura 4.0: una Mirada al Desarrollo en Colombia pp 9–18. (U. d. Atlántico, Ed.) *CESTA*, 9–18. Obtenido de <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.02>
- Omotayo, A. O., Adediran, S. A., Omotoso, A. B., & Olagunju, K. O. (2025). Artificial intelligence in agriculture: ethics, impact possibilities, and pathways for policy. *informática y electrónica en la agricultura*. doi:10.1016/j.compag.2025.110927
- ORJUELA SANTAMARIA, L. N. (2021). *ALCANZANDO EL HAMBRE CERO EN COLOMBIA CON TECNOLOGÍAS*. BOGOTÁ D.C.
- Parra, L. C., & et al, e. (2024). Integrating digital technologies in agriculture for climate change adaptation and mitigation: State of the art and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture* Volume 226. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110392>
- Ramos, M. j. (JUNIO de 2025). *AGRONEGOCIOS*. Obtenido de <https://www.agronegocios.co/agricultura/esta-es-la-crisis-que-esta-atravesando-la-papa-pastusa-4165568>
- REPÚBLICA, C. D. (2019). <http://www.secretariasenado.gov.co/>. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1341_2009.html
- Rose, D. C., Wheeler, R., Winter, b. M., & Charlott, A. C. (2021). Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*.
- Sampieri, R. H., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (pp. 310-386)*. . Celaya: McGraw-Hill.
- Sánchez, C. J. (2022). Aplicación de la inteligencia artificial en la formulación de políticas públicas relacionadas con la vocación agrícola de las regiones. *Revista Científica*, 44(2), 172-187, 172-187. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-22532022000200172#aff2
- Sánchez, C. J., Rodríguez, M. J., & José, S. P. (2022). Application of Artificial Intelligence in the Formulation of Public Policies Related to the Agricultural Vocation of the Regions. *Revista científica pp 172-187*, 44, 172-187.
- SENA. (2024). <https://www.sena.edu.co/>. Obtenido de <https://www.sena.edu.co/es-co/ciudadano/Documents/Cartilla-EC-Boyaca-1-v.pdf>
- Senado de la republica. (2025). *Proyecto de Ley 094 de 2025*.
- SEXTO, C. F., MACÍA, A. X., GARCÍA, V. M., & ARMAS, Q. F. (2024). EL MINIFUNDIO SOSTENIBLE COMO UN NUEVO ESCENARIO PARA LA ECONOMÍA GALLEGA pp. 1-25. *Revista Galega de Economía*, vol. 13, núm. 1-2 (2004),, pp. 1-25.
- Sharma, A., Georgi, M., Tregubenko, M., Alexey, T., & Tselykh, A. (2022). *Enabling smart agriculture by implementing artificial intelligence and embedded sensing*. Russia: Computers & Industrial Engineering.

- Sharma, A., Tselykh, A., Bozhenyuk, T., & Choudhury. (2022). Artificial Intelligence and Internet of Things Oriented Sustainable Precision Farming: Towards Modern Agriculture. De Gruyter, Berlin. *Publicado/Copyright: de De Gruyter*. Obtenido de <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/biol-2022-0713/html>
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., & Yagnik, H. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides pp 58-73. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58-73. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.002>
- tecnicana. (2024). <https://tecnicana.org>. Obtenido de <https://tecnicana.org/2024/06/26/tecnologia-innovacion/10-ventajas-de-implementar-big-data-en-la-agricultura-un-salto-hacia-la-eficiencia-y-la-sostenibilidad-tema-agrotech-2024/?v=42983b05e2f2>
- Vijayakumar, S., Murugaiyan, V., S., I., Kumar, V., & Sundaram, R. M. (2025). Opportunities, challenges, and interventions for agriculture 4.0 adoption. *ICAR-Instituto Indio de Investigación del Arroz, Hyderabad, 500030, India*. Obtenido de <https://www-scopus-com.ezproxy.uniminuto.edu/pages/publications/105012957099?origin=resultslist#>
- Vite, C. H. (2019). Modelo de Big Data para la aplicación de Internet de las Cosas en la gestión de la producción de banano orgánico en la provincia de El Oro. Guayaquil. Obtenido de <http://biblioteca.uteg.edu.ec:8080/bitstream/handle/123456789/964/Modelo%20de%20Big%20Data%20para%20la%20aplicaci%C3%B3n%20de%20Internet%20de%20las%20Cosas%20en%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20la%20producci%C3%B3n%20de%20banano%20org%C3%A1nico%20en%20la%20prov>
- Yan Su, & Ping Wang, X. (2021). Innovación en la Gestión Económica Agraria en el Proceso de Construcción de una Agricultura Inteligente mediante Big Data. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100579>
- Zabala-Vargas, S., & Jaimes-Quintanilla, M. (2025). Tecnologías 4.0 (IOT y ciencia de datos) orientada a optimizar la gestión de proyectos de construcción. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-21. <https://epsir.net/index.php/epsir/article/view/1621>
- Zabala-Vargas, S., Jaimes-Quintanilla, M., & Jimenez-Barrera, M. H. (2023). Big Data, Data Science, and Artificial Intelligence for Project Management in the Architecture, Engineering, and Construction Industry: A Systematic Review. *Buildings*, 13(12), 2944. <https://doi.org/10.3390/buildings13122944>
- Zabala-Vargas, S., Jiménez-Barrera, M., Vargas-Sanchez, L., & Jaimes-Quintanilla, M. (2023). Big data in construction project management: The Colombian northeast case. *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems*, 1, 1, 3476-3483. <https://doi.org/0.1201/9781003323020>
- Zabala-Vargas, S., Martínez-Ortega, J., & Jaimes-Quintanilla, M. (2025). Administración de proyectos apoyada en tecnologías emergentes (inteligencia artificial y ciencia de datos) en el sector de obra civil. VII International conference on applied engineering and innovative technologies-AENIT, Perú. <https://easychair.org/cfp/AENIT2025>
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>

Anexos 1 Encuesta para la identificación de tecnologías emergentes en la planificación y programación del cultivo de papa en Boyacá.

Parte 1 de 5: MODELO DE NEGOCIO Y PRODUCTO - Nivel estratégico

Mediante las siguientes preguntas se identificará el nivel de transformación digital de su modelo de negocio y la implementación de la misma en sus productos.

Nota: Al hablar de producto se hace referencia a tangibles o intangibles y al hablar de producción es el proceso de creación de cada uno de ellos.

11. De acuerdo a la afirmación seleccione cuál nivel representa mejor la organización. *

	Nulo	Existe la iniciativa	En desarrollo	En implementación	En acción
Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuenta con indicadores para medir nivel de transformación digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. De acuerdo a las siguientes afirmaciones seleccione cuál nivel representa mejor su organización.

	No se realiza	En algunos casos	En la mayoría de los casos	Se realiza permanentemente
Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de proveedores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de clientes.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Analiza información de sus clientes para generar o mejorar productos o servicios.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus clientes.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus proveedores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuenta con la planificación y dirección de la cadena de suministros desde los clientes hasta los proveedores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17. De acuerdo a las máquinas y equipos de su organización, ¿Cuál es el grado de implementación de las siguientes funcionalidades? *

	Nulo	Parcialmente	Implementado
Las máquinas y sistemas se pueden controlar a través de tecnologías.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comunicación entre máquinas / sistemas - M2M	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Capacidad de integrarse y colaborar con otras máquinas / sistemas - INTEROPERABILIDAD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

25. Califíquelas siguientes preguntas según la escala establecida: *

	Totalmente en desacuerdo	Parcialmente en desacuerdo	Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	Parcialmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo
La información de su organización se encuentra segura en el contexto de la transformación digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realiza evaluaciones y auditorías de seguridad de la información en su organización como parte de la estrategia de transformación digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Promueve la conciencia y la capacitación en seguridad de la información entre los empleados de acuerdo a la transformación digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Las medidas de respuesta ante incidentes de seguridad de la información en su organización son efectivas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Parte 5 de 5: ESTRATEGIA Y EXPERIENCIA EN INDUSTRIA 4.0

Mediante las siguientes preguntas se identificará el nivel de conocimiento, adecuación y proyección de uso de las tecnologías habilitadoras de la industria 4.0.

26. ¿Cómo realiza la organización el registro de la información generada por los procesos (producción, comercial, calidad, mantenimiento, administración, etc.)?

- No registra información de los procesos.
- Todos los procesos se registran en papel.
- Algunos procesos se registran en papel y otros están digitalizados.
- Todos los procesos están completamente digitalizados.

27. ¿Dispone de alguna persona en la organización responsable de la transformación digital?

- No dispone de roles especializados.
- Se dispone de un rol especializado.
- Se dispone de varios roles especializados.
- Se dispone de una gran especialización de roles digitales claves para la Industria 4.0.

31. ¿Qué nivel de importancia tienen en la organización, como elemento diferenciador en el sector, las soluciones y tecnologías relacionadas con los siguientes habilitadores de Industria 4.0?

	Sin importancia	Importancia baja	Importancia media	Importancia alta	Importancia muy alta
Inteligencia artificial.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fabricación aditiva.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Internet de las cosas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Big data y análisis de datos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realidad virtual y aumentada.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Plataformas y comunicaciones.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tecnologías en la nube (Cloud).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ciberseguridad.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Marketing digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Formación y personas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Robótica y automatización.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Anexos 2. Declaración de consentimiento e información preliminar sobre la encuesta de evaluación del nivel de madurez tecnológica en la planificación y programación de cultivos de papa en Boyacá.

Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos

Objetivo:
Conocer el nivel de apropiación de tecnologías emergentes (Inteligencia Artificial, Ciencia de Datos e Internet de las cosas-IoT) en la gestión de proyectos de las organizaciones en Colombia

Autor:
Equipo de investigación de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO

Declaración inicial:
La presente encuesta hace parte del Proyecto de investigación: INTELIGENCIA ARTIFICIAL, BIG-DATA Y CIENCIA DE DATOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS EN COLOMBIA; de la Corporación Universitaria Minuto de Dios.
Este instrumento tiene una intención estrictamente académica e investigativa; y busca reconocer el uso, conocimiento e interés de apropiación de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Ciencia de Datos) en la gestión de proyectos que tiene su organización.
Toda la información será tratada con altos estándares de confidencialidad, de forma anónima (presentación de datos generalizados) y cumpliendo la legislación vigente en Colombia.

Definiciones importantes

- **Transformación digital:** Es el proceso de integrar tecnologías digitales en todos los aspectos de una organización para mejorar la eficiencia, la innovación y la experiencia del cliente, y para adaptarse a un mundo cada vez más conectado y digital
- **Tecnologías habilitadoras de la transformación digital:** Son herramientas y soluciones tecnológicas claves, como la ciencia de datos, la inteligencia artificial y el big data, que permiten a las organizaciones modernizar procesos, mejorar la eficiencia y crear nuevas oportunidades de negocio en la era digital.
- **Industria 4.0:** Revolución que se caracteriza por la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, IoT, análisis de datos, robótica, entre otros; en los procesos de fabricación y/o generación de servicios para lograr mayor eficiencia, flexibilidad y personalización.

Gracias por su interés de participación.

* Obligatorio

CARACTERIZACIÓN

Mediante las siguientes preguntas podemos caracterizar la empresa que representa para analizar posteriormente la información.

1. ¿Está de acuerdo con la declaración inicial y desea continuar con la encuesta? *

SI

NO