



Corporación Universitaria Minuto de Dios – Rectoría Virtual

Especialización en Gerencia de Proyectos

Estrategias de sostenibilidad agrícola con inteligencia artificial y big data para la
eficiencia ambiental en corregimientos rurales de Medellín

Ronny Fernell Restrepo Yepes

Cesar Andrés Rico Zuluaga

Brayan Ricardo Gualdron Herrera

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

Asesor:

Dr. Sergio Andrés Zabala Vargas

Doctor en Tecnología Educativa

Bogotá D. C., Colombia

Julio de 2025

CONTENIDO

Lista de tablas	6
Lista de ilustraciones	7
Lista de anexos	8
Resumen	9
Abstract	11
Introducción.....	13
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 Descripción del problema	15
1.2 Pregunta de investigación	16
1.3 Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Justificación	17
2 MARCO DE REFERENCIA	18
2.1 Marco teórico.....	18
2.2 Estado del arte	20
2.2.1 Internacional	20
2.2.2 Latinoamérica	21
2.2.3 Nacional (Colombia)	21
2.3 Marco normativo y legal.....	23
3 METODOLOGÍA	25
3.1 Ruta de investigación.....	25
3.2 Población y muestra	26
3.3 Instrumentos de recolección de información	26

3.4	Consideraciones éticas.....	29
3.5	Variables e hipótesis.....	31
4	HIPÓTESIS	31
4.1	Hipótesis general	31
4.2	Variables.....	31
5	RESULTADOS.....	32
5.1	Resultados y análisis de la encuesta	32
5.1.1	Clasificación según su actividad económica	33
5.1.2	Número de empleados	34
5.1.3	Nivel de ingresos anuales	35
5.1.4	Ámbito de operación geográfica de la organización.....	36
5.1.5	Formación del talento humano frente a la transformación digital	37
5.1.6	Tecnologías utilizadas en la organización	38
5.1.7	Interés en capacitación del talento humano en transformación digital.....	39
5.1.8	Responsable de transformación digital en la organización.....	40
5.1.9	Estrategia de transformación digital desde la alta dirección.....	41
5.1.10	Plataformas y herramientas de comunicación	42
5.1.11	Uso de software desde la nube	43
5.1.12	Infraestructura tecnológica	44
5.1.13	Internet de las Cosas (IoT).....	45
5.1.14	Uso de inteligencia artificial.....	46
5.1.15	Uso de Big Data y análisis de datos	47
5.1.16	Responsable de transformación digital.....	48
5.1.17	Adopción de sistemas inteligentes.....	49
5.1.18	Visión en tiempo real de la producción Gráfico	50
5.1.19	Conciencia y capacitación en seguridad digital.....	51

5.1.20	Estrategia digital desde la alta dirección	52
5.1.21	Cierre del análisis de encuestas	53
5.1.22	Resultados de las entrevistas	53
5.1.23	Entrevista 1 – María del Carmen Ríos.....	54
5.1.24	Entrevista 2 – Juan Carlos Posada.....	54
5.1.25	Entrevista 3 – Luis Fernando Gutiérrez.....	55
5.1.26	Análisis de las entrevistas	56
5.1.27	Observaciones de campo	56
5.1.28	Principales hallazgos por corregimiento.....	57
5.1.29	Conclusión general de las observaciones	58
5.1.30	Variable dependiente: Eficiencia ambiental y sostenibilidad agrícola	58
5.1.31	Clasificación de las variables	59
5.1.32	Operacionalización de las variables	59
5.1.33	Hipótesis del estudio.....	60
5.1.34	Justificación de las variables en relación con los objetivos.....	60
5.1.35	Alcance del análisis de variables	61
5.2	Propuesta de intervención.....	61
5.2.1	Justificación de la propuesta.....	61
5.2.2	Objetivo de la propuesta	61
5.2.3	Componentes de la propuesta	62
5.2.4	Componente físico – Sistema de Monitoreo IoT	62
5.2.5	Componente digital – Plataforma de visualización y análisis	62
5.2.6	Componente formativo – Capacitación tecnológica.....	63
5.2.7	Componente de gobernanza y sostenibilidad.....	63
5.2.8	Indicadores de sostenibilidad.....	63
5.2.9	Cronograma de implementación (resumen).....	64

5.3	Discusión	64
6	CONCLUSIONES	66
7	RECOMENDACIONES	67
7.1	Implementar programas de formación en competencias digitales para agricultores y actores locales.....	67
7.2	Fortalecer la infraestructura tecnológica y la conectividad rural.....	68
7.3	Desarrollar pilotos de validación de la propuesta tecnológica planteada	68
7.4	Crear comités comunitarios de innovación tecnológica	68
7.5	Incentivar políticas públicas orientadas a la transformación digital del agro	68
7.6	Integrar el enfoque de sostenibilidad en toda estrategia tecnológica.....	69
8	REFERENCIAS.....	70
9	ANEXOS	73

Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación de las variables	60
Tabla 2 Operacionalización de las variables	60
Tabla 3 indicadores de sostenibilidad.....	64
Tabla 4 Cronograma de implementación.....	65

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Clasificación según su actividad económica	34
Ilustración 2 Número de empleados	35
Ilustración 3 Nivel de ingresos anuales	36
Ilustración 4 Ámbito de operación geográfica de la organización	37
Ilustración 5 Formación del talento humano frente a la transformación digital	38
Ilustración 6 Tecnologías utilizadas en la organización	39
Ilustración 7 Interés en capacitación del talento humano en transformación digital.....	40
Ilustración 8 Responsable de transformación digital en la organización.....	41
Ilustración 9 Estrategia de transformación digital desde la alta dirección.....	42
Ilustración 10 Plataformas y herramientas de comunicación	43
Ilustración 11 Uso de software desde la nube	44
Ilustración 12 Infraestructura tecnológica	45
Ilustración 13 Internet de las cosas (IoT)	46
Ilustración 14 Uso de inteligencia artificial.....	47
Ilustración 15 Uso de Big Data y análisis de datos	48
Ilustración 16 Responsable de transformación digital.....	49
Ilustración 17 Adopción de sistemas inteligentes.....	50
Ilustración 18 Visión en tiempo real de la producción.....	51
Ilustración 19 Conciencia y capacitación en seguridad digital.....	52
Ilustración 20 Estrategia digital desde la alta dirección	53

Lista de anexos

Anexo 1 Encabezado de la encuesta en Google Forms parte 1.....74

Anexo 2 Encabezado de la encuesta en Google Forms parte 2.....74

Resumen

La sostenibilidad ambiental en el sector agrícola representa un reto prioritario en el contexto actual de cambio climático, pérdida de biodiversidad y degradación del suelo. Este trabajo de grado tiene como objetivo principal proponer estrategias de sostenibilidad agrícola mediante el uso de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) y el Big Data, enfocándose en corregimientos rurales del municipio de Medellín. Se parte del reconocimiento de que estas zonas, caracterizadas por condiciones geográficas diversas y niveles bajos de tecnificación, presentan limitaciones importantes en términos de acceso a tecnologías, conectividad, infraestructura y formación especializada, lo que repercute directamente en la eficiencia de sus prácticas agrícolas.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, utilizando técnicas de recolección de datos tanto cuantitativa como cualitativa, entre ellas encuestas estructuradas, entrevistas semiestructuradas y observaciones de campo. Estos instrumentos permitieron identificar falencias en la implementación de prácticas sostenibles, la percepción de los agricultores sobre el uso de nuevas tecnologías, y las barreras que dificultan su adopción. Entre los hallazgos más relevantes se destacan el bajo conocimiento sobre herramientas digitales de análisis de datos, el escaso acompañamiento institucional, y la carencia de estrategias locales para la conservación del suelo y los ecosistemas circundantes.

Con base en los datos obtenidos, se diseñó una propuesta estructurada en recomendaciones estratégicas orientadas a mejorar la eficiencia ambiental mediante la integración progresiva de tecnologías digitales aplicadas a la agricultura. Estas estrategias incluyen la incorporación de sistemas de monitoreo predictivo del clima y del estado del suelo mediante sensores inteligentes, plataformas de análisis de datos agrícolas, y la capacitación a los agricultores en competencias digitales y sostenibles. Asimismo, se promueve el uso de modelos de agricultura de precisión y agricultura regenerativa como alternativas viables y contextualizadas a las condiciones rurales de Medellín.

El aporte de este trabajo radica en su carácter interdisciplinario, integrando conocimientos de gestión de proyectos, tecnologías de la información y sostenibilidad ambiental, con un enfoque contextualizado y participativo. Finalmente, se destaca la importancia de fortalecer las políticas públicas y los proyectos comunitarios que fomenten la

innovación agrícola desde una perspectiva ambientalmente responsable, capaz de mejorar las condiciones de vida en el campo sin comprometer los recursos naturales.

Palabras clave: Sostenibilidad, Agricultura, Inteligencia Artificial, Big Data, Eficiencia Ambiental, Zonas Rurales

Abstract

Environmental sustainability in the agricultural sector represents a key challenge in the current context of climate change, biodiversity loss, and soil degradation. This research project aims to propose agricultural sustainability strategies through the use of emerging technologies such as Artificial Intelligence (AI) and Big Data, focusing on rural districts (corregimientos) of the municipality of Medellín. These areas, characterized by diverse geographical conditions and low levels of technological adoption, face significant limitations in terms of access to digital tools, connectivity, infrastructure, and specialized training—factors that directly affect the efficiency of their agricultural practices.

The research followed a mixed-methods approach, applying both quantitative and qualitative data collection tools, including structured surveys, semi-structured interviews, and field observations. These instruments allowed for the identification of deficiencies in the implementation of sustainable practices, perceptions of farmers regarding technology use, and the main barriers to adoption. Key findings include a low level of knowledge regarding data analysis tools, a lack of institutional support, and the absence of local strategies for soil and ecosystem conservation.

Based on the collected data, a structured proposal was developed with strategic recommendations to improve environmental efficiency through the gradual integration of digital technologies in agriculture. These strategies include the implementation of predictive climate and soil monitoring systems using smart sensors, agricultural data analysis platforms, and farmer training programs in digital and sustainable practices. Additionally, the project promotes the use of precision and regenerative agriculture models as viable and contextualized alternatives for rural areas in Medellín.

The contribution of this study lies in its interdisciplinary approach, combining knowledge from project management, information technologies, and environmental sustainability, with a participatory and context-specific focus. Finally, the research highlights the importance of strengthening public policies and community-driven projects that encourage agricultural innovation in an environmentally responsible manner to improve rural livelihoods without compromising natural resources.

Keywords: Sustainability, Agriculture, Artificial Intelligence, Big Data, Environmental Efficiency, Rural Areas

Introducción

La sostenibilidad ambiental se ha convertido en uno de los pilares fundamentales del desarrollo global, especialmente en sectores productivos como la agricultura, donde la relación entre el ser humano y los recursos naturales es directa y constante. En el contexto del cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo y la escasez de agua, el sector agrícola enfrenta desafíos significativos que requieren soluciones innovadoras y sostenibles. A nivel mundial, organismos como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) han advertido sobre la necesidad urgente de adoptar prácticas que garanticen la seguridad alimentaria sin comprometer los ecosistemas y la capacidad regenerativa de la naturaleza (FAO, 2021).

En América Latina, y particularmente en Colombia, la agricultura continúa siendo una actividad económica y social esencial, sobre todo en las zonas rurales. Sin embargo, el nivel de tecnificación sigue siendo bajo y muchas comunidades agrícolas carecen de acceso a herramientas digitales, infraestructura adecuada y acompañamiento técnico. Esta situación ha generado una brecha tecnológica que limita la eficiencia ambiental y la productividad del sector, al mismo tiempo que expone los sistemas agrícolas a riesgos climáticos y económicos cada vez más frecuentes (Paredes & Salazar, 2020).

Ante esta realidad, el uso de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) y el Big Data ofrece un nuevo horizonte para transformar la gestión agrícola, permitiendo la toma de decisiones basadas en datos, la predicción de condiciones climáticas y del suelo, y la optimización de recursos naturales. Estas tecnologías representan una oportunidad para modernizar el agro colombiano bajo criterios de sostenibilidad, pero su implementación sigue siendo limitada debido a factores como el desconocimiento, la falta de conectividad, la resistencia al cambio y la poca articulación entre instituciones, gobiernos locales y comunidades rurales (Pretty et al., 2020).

La presente investigación se desarrolla en los corregimientos rurales de Medellín, zonas que, a pesar de su cercanía a una ciudad principal, enfrentan múltiples desafíos relacionados con el acceso a la tecnología, la educación técnica y el uso eficiente del suelo. Este trabajo se propone identificar estrategias de sostenibilidad agrícola mediante el uso de IA y Big Data, analizando las barreras actuales, las condiciones del entorno y las oportunidades de mejora,

con el fin de construir un modelo de intervención que promueva la eficiencia ambiental, la conservación del ecosistema y una mejor calidad de vida para las comunidades rurales.

El documento se encuentra estructurado en seis capítulos, en cumplimiento del formato institucional. El **Capítulo 1**, *Planteamiento del problema*, expone en detalle el contexto general y particular de la problemática, las causas y consecuencias que justifican la necesidad de esta investigación. El **Capítulo 2**, *Marco de referencia*, presenta los antecedentes investigativos, el marco teórico con los conceptos clave y el marco legal correspondiente. El **Capítulo 3**, *Metodología*, describe el enfoque del estudio, los instrumentos de recolección de datos, el procedimiento y las consideraciones éticas. El **Capítulo 4**, *Hipótesis y variables*, desarrolla las proposiciones de trabajo y define las variables utilizadas. El **Capítulo 5**, *Resultados*, presenta el análisis detallado de la información obtenida a través de encuestas, entrevistas y observaciones, así como la propuesta estratégica y la discusión frente a los antecedentes. Finalmente, el **Capítulo 6**, *Conclusiones*, resume los hallazgos más relevantes en función de los objetivos, la propuesta realizada y los aportes del estudio al sector agrícola de Medellín.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La agricultura es una de las actividades humanas más antiguas y fundamentales para el desarrollo de las civilizaciones. Sin embargo, en el siglo XXI enfrenta desafíos críticos relacionados con la sostenibilidad ambiental. El cambio climático, la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad y la contaminación de fuentes hídricas son fenómenos que han intensificado la vulnerabilidad del sector agrícola a nivel mundial (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022). Según la FAO (2021), prácticas agrícolas no sostenibles han contribuido significativamente a la degradación del suelo en más del 33% de las tierras cultivables del planeta. Este panorama exige la adopción de enfoques integrales y tecnológicos que permitan mejorar la eficiencia en el uso de los recursos naturales.

En el contexto latinoamericano, Colombia enfrenta problemáticas similares. A pesar de su riqueza hídrica y su biodiversidad, el país presenta niveles preocupantes de degradación ambiental vinculados a la expansión de la frontera agrícola, el uso excesivo de agroquímicos, la deforestación y la inadecuada gestión del suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2021). Además, las estadísticas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2022) indican que gran parte de la población rural tiene acceso limitado a tecnologías que podrían mejorar la sostenibilidad de sus prácticas agrícolas. La falta de conectividad, la baja formación técnica y la escasa inversión en innovación dificultan la transición hacia una agricultura inteligente.

Particularmente en los corregimientos rurales del municipio de Medellín, como San Cristóbal, Altavista, San Antonio de Prado y Santa Elena, se identifican condiciones que agravan la problemática. Estas zonas, aunque pertenecen a un entorno urbano metropolitano, presentan deficiencias en infraestructura, asistencia técnica, acceso a tecnologías digitales y sostenibilidad de los modelos agrícolas implementados. Estudios realizados por la Alcaldía de Medellín (2023) muestran que la mayoría de los pequeños productores en estas zonas no utilizan herramientas de monitoreo climático ni prácticas de conservación del suelo, lo que genera una sobreexplotación de los recursos y disminuye la productividad a largo plazo.

Las causas de esta problemática son múltiples y están interrelacionadas. Entre ellas se destacan:

- La baja alfabetización digital y escasa capacitación técnica de los agricultores en el uso de tecnologías emergentes.
- La limitada cobertura de internet y la infraestructura tecnológica insuficiente en áreas rurales.
- La falta de políticas públicas locales que promuevan la adopción de modelos de agricultura sostenible apoyados en datos.
- La desconexión entre las necesidades reales de las comunidades rurales y los programas institucionales de asistencia.

Estas causas generan consecuencias negativas tanto en el ámbito ambiental como social. En primer lugar, la degradación de los suelos afecta la capacidad productiva de las parcelas, lo que conlleva a una pérdida de ingresos y a la inseguridad alimentaria. En segundo lugar, la ineficiencia en el uso del agua y otros recursos naturales contribuye al deterioro de los ecosistemas circundantes. Finalmente, la ausencia de innovación perpetúa ciclos de pobreza y dependencia, alejando a las comunidades rurales de oportunidades de desarrollo sostenible (Robalino & García, 2020).

A pesar del potencial que ofrecen herramientas como la inteligencia artificial y el Big Data para transformar el sector agrícola, su implementación sigue siendo mínima en zonas rurales como los corregimientos de Medellín. Esta situación revela la necesidad de diseñar estrategias contextualizadas que promuevan la adopción tecnológica como medio para alcanzar una agricultura sostenible, resiliente y adaptada a los retos ambientales del presente y futuro.

1.2 Pregunta de investigación

En el contexto actual de crisis ambiental y cambio climático, las zonas rurales enfrentan importantes desafíos relacionados con la sostenibilidad y la gestión eficiente de los recursos naturales. Particularmente en los corregimientos rurales de Medellín, donde predominan prácticas agrícolas tradicionales, la incorporación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) y el Big Data puede representar una oportunidad transformadora. Sin embargo, su adopción no ha sido homogénea ni sistemática, en gran parte debido a barreras estructurales, técnicas, sociales y culturales.

En este sentido, surge la necesidad de cuestionarse: ¿Cuáles son las estrategias de sostenibilidad agrícola que pueden implementarse en los corregimientos rurales de Medellín

mediante el uso de inteligencia artificial y Big Data para mejorar la eficiencia ambiental, considerando las barreras tecnológicas, sociales y territoriales presentes en estas comunidades?

Esta pregunta busca guiar la investigación hacia una solución integral y adaptada a las particularidades del territorio, que no solo contemple la viabilidad tecnológica, sino también la pertinencia social y ambiental de las estrategias propuestas.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Proponer un modelo de gestión agrícola sostenible mediante inteligencia artificial y Big Data para mejorar la eficiencia ambiental en los corregimientos rurales de Medellín, considerando las barreras de adopción tecnológica, el contexto territorial y el fortalecimiento de capacidades locales.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar el nivel actual de apropiación tecnológica, uso de plataformas digitales y familiarización con herramientas inteligentes por parte de los agricultores rurales mediante la aplicación de encuestas estructuradas.
- Analizar los resultados cuantitativos y cualitativos derivados de la recolección de datos, con el fin de determinar el grado de madurez digital en la gestión de procesos agrícolas, así como los principales desafíos y brechas existentes.
- Formular una propuesta basada en tecnologías IoT e inteligencia artificial para el diseño de un sistema de monitoreo de variables ambientales y agrícolas, que responda a las necesidades reales de los productores rurales e incentive prácticas sostenibles.
- Evaluar la viabilidad de las estrategias propuestas a través de indicadores de sostenibilidad ambiental, social y tecnológica, promoviendo una visión integral del desarrollo agrícola en territorios rurales en el marco de la transformación digital.

1.4 Justificación

La agricultura en Colombia representa uno de los sectores más importantes para garantizar la seguridad alimentaria, el desarrollo rural y la conservación del medio ambiente. No obstante, las condiciones geográficas, las limitaciones tecnológicas, la baja adopción de herramientas digitales y el escaso acceso a conectividad representan obstáculos persistentes en zonas rurales del país (FAO, 2021). Ante estos retos, es fundamental implementar estrategias

que integren la tecnología como un catalizador del desarrollo agrícola sostenible.

El presente estudio se justifica en la necesidad de cerrar brechas tecnológicas entre el entorno rural y urbano, proponiendo soluciones basadas en inteligencia artificial (IA), internet de las cosas (IoT) y análisis de datos, que permitan optimizar los recursos naturales, aumentar la productividad y fortalecer la toma de decisiones en los territorios agrícolas. La innovación tecnológica, adecuadamente adaptada al contexto rural, puede representar una alternativa eficiente para enfrentar problemáticas como la degradación del suelo, el uso ineficiente del agua, la deforestación y los efectos del cambio climático.

Adicionalmente, este trabajo cobra relevancia al proponer herramientas que faciliten la transición hacia una agricultura más digital, resiliente y ambientalmente responsable, partiendo del diagnóstico real en campo, a través de encuestas, entrevistas y observaciones realizadas en corregimientos rurales del municipio de Medellín. La propuesta busca generar valor no solo desde el punto de vista técnico, sino también desde el componente social y organizativo, fortaleciendo las capacidades locales para la apropiación tecnológica. El desarrollo del proyecto contribuye también al fortalecimiento de competencias profesionales en la formulación y gestión de proyectos con enfoque en sostenibilidad e innovación, aportando a los lineamientos establecidos por la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en lo referente a agricultura sostenible, acción por el clima e innovación en zonas rurales.

2 MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico

El desarrollo de tecnologías emergentes ha transformado profundamente los sistemas agrícolas, permitiendo una gestión más eficiente, sostenible y basada en datos. En este contexto, herramientas como la inteligencia artificial (IA), el big data y el Internet de las Cosas (IoT) se consolidan como pilares fundamentales para enfrentar los desafíos ambientales, sociales y productivos del agro, especialmente en zonas rurales de países en desarrollo como Colombia.

La inteligencia artificial (IA) se refiere a la capacidad de las máquinas para simular procesos cognitivos humanos como el aprendizaje, la resolución de problemas y la toma de decisiones (Russell & Norvig, 2020). En el contexto agrícola, la IA se aplica al análisis predictivo de plagas, monitoreo de cultivos mediante visión por computadora y automatización de procesos como el riego y la fertilización. Estas aplicaciones aumentan la precisión de las intervenciones y optimizan el uso de recursos naturales (Chen et al., 2021).

Por su parte, el Internet de las Cosas (IoT) hace referencia a la interconexión de dispositivos físicos a través de redes que permiten recopilar, enviar y procesar datos en tiempo real. En la agricultura, los sensores IoT se utilizan para medir humedad del suelo, temperatura, condiciones climáticas y parámetros fisiológicos de las plantas. Esta información permite una toma de decisiones más informada y ajustada a las condiciones específicas del entorno (Mekonnen & Hoekstra, 2016). Según la FAO (2020), el uso de IoT en sistemas agrícolas ha demostrado reducir pérdidas y aumentar rendimientos en más de un 20% en regiones piloto de América Latina.

El big data, en cambio, se refiere al procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos provenientes de diversas fuentes, como satélites, sensores, redes sociales y registros productivos. Su aplicación en el agro permite identificar patrones climáticos, prever rendimientos y optimizar cadenas de distribución y comercialización (García-González et al., 2019). Además, la combinación de big data con IA da lugar a sistemas de apoyo a la toma de decisiones que pueden beneficiar especialmente a pequeños productores.

Estas tecnologías no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también promueven la sostenibilidad agrícola, entendida como la capacidad de mantener la productividad del agro sin comprometer los recursos naturales ni los derechos de las generaciones futuras (Pretty et al., 2020). La sostenibilidad en contextos rurales requiere un enfoque integral que combine innovación tecnológica con inclusión social y apropiación cultural. En este sentido, la alfabetización digital, la capacitación en el uso de herramientas tecnológicas y el acceso a conectividad se convierten en factores clave para garantizar la efectividad de cualquier intervención.

En el caso colombiano, el Ministerio de Agricultura y el Ministerio TIC han promovido programas como “Agro 4.0” y “Campo Conectado”, con el fin de llevar estas tecnologías a las zonas rurales y cerrar brechas estructurales. Sin embargo, persisten desafíos asociados a la infraestructura, la resistencia al cambio y la escasez de formación técnica (MinTIC, 2023).

Este marco teórico constituye la base conceptual de la presente investigación, que busca formular una propuesta de intervención tecnológica para corregimientos rurales de Medellín, integrando IA, IoT y big data bajo principios de sostenibilidad ambiental, equidad social y viabilidad técnica. La apropiación de estas herramientas por parte de las comunidades locales permitirá no solo aumentar la productividad agrícola, sino también fortalecer sus capacidades organizativas y adaptativas ante los retos del cambio climático y la transformación digital.

2.2 Estado del arte

El estado del arte proporciona un panorama general sobre las investigaciones previas relacionadas con la sostenibilidad agrícola, la implementación de tecnologías emergentes como IoT e inteligencia artificial, y el uso de estrategias de datos en entornos rurales. Se ha realizado una revisión sistemática en bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect, Google Scholar y Redalyc, seleccionando 12 trabajos pertinentes divididos por regiones geográficas, que presentan metodologías, enfoques y resultados que sirven de referente conceptual y técnico para el desarrollo de esta investigación.

2.2.1 Internacional

Pretty et al. (2020) realizaron un estudio a nivel global sobre la reestructuración de sistemas agrícolas para la sostenibilidad. Se analizaron 85 países y se identificaron modelos de intensificación sostenible que combinan prácticas ecológicas con tecnologías emergentes. Su enfoque integra herramientas como sensores remotos, algoritmos predictivos y big data para optimizar cultivos sin comprometer el equilibrio ambiental. Este trabajo destaca la importancia de rediseñar los sistemas agrícolas desde un enfoque sistémico, lo cual coincide con los objetivos de esta investigación.

Pretty et al., 2020

Mekonnen & Hoekstra (2016) estimaron el nivel de escasez hídrica global utilizando datos satelitales, IoT y modelado ambiental. Identificaron que cerca de 4.000 millones de personas viven bajo escasez severa de agua al menos un mes al año. El estudio destaca el valor de los sensores y el monitoreo digital para la gestión de recursos hídricos, una preocupación central en contextos agrícolas rurales. Su propuesta de alertas y control hídrico automatizado es una inspiración directa para el modelo que se plantea.

Mekonnen & Hoekstra, 2016

Chen et al. (2021) desarrollaron una plataforma basada en inteligencia artificial para la predicción de plagas en arrozales en China. Su sistema combinó sensores de clima, cámaras y algoritmos de aprendizaje automático, logrando una reducción del 25% en pérdidas por plagas. Este trabajo es clave como referente técnico para la propuesta de intervención basada en IA en este proyecto.

Chen, X., Liu, Y., Zhang, H., & Wang, J., 2021

2.2.2 Latinoamérica

Carrillo et al. (2018) analizaron la implementación de tecnologías de agricultura de precisión en zonas rurales de México. El estudio detalla cómo se integraron sensores de humedad, drones y análisis de datos para aumentar la productividad en pequeños predios. Se identificaron barreras como la baja alfabetización digital, similares a las de los corregimientos estudiados en Medellín. La solución propuesta fue una plataforma digital con interfaz adaptada a usuarios rurales.

Carrillo, M., Gómez, R. & Paredes, A., 2018

Paredes & Silva (2020) desarrollaron un modelo de apoyo a la toma de decisiones para pequeños productores en Perú, utilizando IoT y machine learning. El modelo permitió anticipar plagas y ajustar el riego en función de predicciones climáticas. La investigación demuestra cómo tecnologías inteligentes pueden integrarse incluso en contextos con infraestructura limitada, lo cual resulta pertinente para la realidad colombiana.

Paredes, L., & Silva, R., 2020

Martínez & Duarte (2022) realizaron una evaluación en zonas rurales de Argentina sobre la aceptación de plataformas digitales de monitoreo agrícola. Mediante entrevistas y pruebas piloto, determinaron que la adopción mejora significativamente cuando se acompañan de procesos de formación continua. Esta investigación sustenta el enfoque educativo planteado en la propuesta de este trabajo.

Martínez, A., & Duarte, E., 2022

2.2.3 Nacional (Colombia)

García-González et al. (2019) presentaron una revisión sistemática sobre tecnologías emergentes en el agro colombiano. Destacan el papel del big data y sensores remotos para planificar cultivos y controlar plagas. Aunque el país aún presenta rezagos, se identifican pilotos exitosos en el Eje Cafetero y Nariño. Esta revisión sirve como marco inicial para identificar las oportunidades de adopción en Medellín rural.

García-González, J., Martínez-Rodríguez, R., & Pérez-González, A., 2019

Muñoz & Quintero (2020) desarrollaron una investigación aplicada en Cundinamarca para evaluar el uso de sensores IoT en cultivos de tomate. A través de un sistema de riego

automatizado basado en humedad del suelo, lograron aumentar la eficiencia hídrica en un 40%. Además, destacaron la importancia de la capacitación técnica en los agricultores para asegurar el éxito de la implementación. Este estudio aporta un ejemplo práctico relevante para los corregimientos de Medellín.

Muñoz, P., & Quintero, J., 2020

Ramírez & Castaño (2021) estudiaron el impacto de la apropiación digital en campesinos del sur de Antioquia. Mediante entrevistas, demostraron cómo el uso de WhatsApp, YouTube y plataformas locales de agricultura ha transformado prácticas tradicionales, reduciendo el desperdicio y mejorando la comercialización. El enfoque cultural de esta investigación es clave para diseñar soluciones adaptadas.

Ramírez, M., & Castaño, L., 2021

López & Torres (2021) realizaron un análisis sobre la percepción de los agricultores respecto a la tecnología en el Cauca. Aplicaron encuestas para conocer el grado de confianza en el uso de herramientas digitales y la disposición a implementar nuevas tecnologías. Identificaron una relación directa entre el nivel educativo y la aceptación tecnológica. Esta evidencia refuerza la necesidad de estrategias adaptadas al perfil sociocultural de los usuarios rurales.

López, D., & Torres, F., 2021

Zapata et al. (2022) desarrollaron un piloto de agricultura inteligente en el municipio de Rionegro, Antioquia. Integraron sensores de humedad y temperatura con dashboards visuales para agricultores, logrando una reducción del 30% en el uso de agua. Su experiencia demuestra la viabilidad técnica y económica de implementar estas soluciones en contextos locales.

Zapata, F., Mejía, D., & Restrepo, S., 2022

Rincón et al. (2023) presentaron un estudio piloto en zonas rurales de Boyacá donde implementaron sensores de CO₂ y temperatura para monitorear el crecimiento de cultivos de papa. La plataforma permitió generar alertas ante condiciones desfavorables. Además, se diseñó un sistema visual amigable para usuarios con baja escolaridad. Esta experiencia refuerza la importancia del diseño centrado en el usuario en tecnologías para el agro.

Rincón, J., Álvarez, M., & Rojas, P., 2023

2.3 Marco normativo y legal

El desarrollo de este proyecto se fundamenta en un conjunto de disposiciones legales y políticas públicas que orientan la sostenibilidad ambiental, el uso responsable de tecnologías emergentes y la protección de datos personales en el contexto colombiano. La integración de herramientas digitales como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el análisis de datos requiere un marco regulatorio sólido que garantice la legalidad de su implementación, así como la pertinencia social y ambiental del modelo propuesto.

En primer lugar, la Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, establece los principios rectores de la política ambiental colombiana. Esta ley promueve el desarrollo sostenible, entendido como el equilibrio entre crecimiento económico, equidad social y protección ambiental. Su enfoque es esencial para proyectos que, como este, buscan transformar las prácticas agrícolas tradicionales mediante tecnologías que optimicen recursos y minimicen impactos ecológicos.

La Ley 1341 de 2009, modificada por la Ley 1978 de 2019, define el marco legal de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en Colombia. Reconoce el acceso a Internet como un servicio esencial y establece lineamientos para el despliegue de infraestructura tecnológica en zonas rurales. Esta ley respalda el uso de sensores, plataformas digitales y conectividad satelital en entornos rurales como los corregimientos de Medellín, donde se busca cerrar la brecha digital.

En cuanto a la protección de la información, la Ley 1581 de 2012 regula el tratamiento de datos personales. Esto es particularmente importante para los instrumentos metodológicos de este proyecto, como las encuestas y entrevistas, que recogen información sensible sobre las prácticas agrícolas, nivel educativo, acceso a tecnología y percepciones culturales. La ley establece principios como la confidencialidad, la finalidad y el consentimiento informado, que deben cumplirse estrictamente durante el desarrollo del trabajo de campo y el análisis posterior.

Desde una perspectiva internacional, la Ley 165 de 1994, mediante la cual se aprueba el Convenio sobre la Diversidad Biológica adoptado en la Cumbre de Río de Janeiro, establece compromisos del país con la conservación de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos naturales. Esta norma respalda el enfoque del proyecto hacia el mejoramiento del suelo, la eficiencia ambiental y la protección de los ecosistemas rurales.

Además, el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026, instrumento rector de la política pública, contempla estrategias específicas para la transformación digital del agro colombiano. Propone promover el uso de tecnologías emergentes para el desarrollo rural, impulsar la conectividad en las zonas más apartadas y fomentar proyectos de economía verde, agricultura inteligente y capacitación digital. Estas metas coinciden plenamente con los objetivos de esta investigación.

En complemento, el CONPES 3975 de 2019, que define la “Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial”, establece principios éticos, legales y técnicos para el uso responsable de IA, incluyendo la protección de derechos, la transparencia algorítmica y la inclusión de poblaciones vulnerables. Este documento guía el diseño de sistemas inteligentes aplicados a la agricultura y plantea recomendaciones para su implementación en políticas territoriales, lo cual es directamente aplicable a los corregimientos rurales de Medellín.

Adicionalmente, el Decreto 1377 de 2013 reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012 y detalla los procedimientos para la autorización del tratamiento de datos. Esto se alinea con la necesidad de establecer mecanismos éticos y legales para el consentimiento informado en la recolección de datos durante las entrevistas y encuestas.

Finalmente, la Ley 1955 de 2019, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, aunque ya superado por el actual, sentó las bases de muchas políticas de transformación productiva sostenible, sobre las cuales se han construido los lineamientos actuales en tecnologías aplicadas al agro.

En conjunto, este marco normativo y legal proporciona un soporte sólido para el desarrollo de un modelo de intervención tecnológica en el sector agrícola, asegurando la compatibilidad con las leyes colombianas, la pertinencia ética del trabajo de campo y la sostenibilidad a largo plazo de las propuestas planteadas.

3 METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de proponer estrategias tecnológicas sostenibles mediante la implementación de inteligencia artificial, Big Data e IoT, orientadas a mejorar la eficiencia ambiental y la productividad agrícola en corregimientos rurales de Medellín. Para ello, se diseñó un enfoque metodológico riguroso que articula elementos cuantitativos y cualitativos, permitiendo una comprensión integral de la problemática abordada.

3.1 Ruta de investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para la recolección y análisis de información. Esta elección metodológica responde a la necesidad de comprender tanto los aspectos técnicos de la adopción tecnológica como las percepciones y condiciones socioculturales de los actores involucrados en los corregimientos rurales de Medellín.

En primera instancia, se aplicaron encuestas estructuradas a una muestra representativa de actores del sector agrícola con el fin de caracterizar el nivel de madurez tecnológica, el uso actual de herramientas digitales y las barreras para la apropiación tecnológica. De forma complementaria, se realizaron entrevistas semiestructuradas a líderes comunitarios, técnicos y productores locales, lo cual permitió profundizar en las motivaciones, resistencias y necesidades particulares de cada zona.

Adicionalmente, se llevaron a cabo observaciones de campo en tres corregimientos priorizados de Medellín, donde se documentaron prácticas agrícolas, condiciones ambientales y recursos tecnológicos disponibles. Estas observaciones fueron registradas mediante fichas técnicas y evidencias fotográficas.

La ruta metodológica del proyecto contempló tres fases:

- Diagnóstico: Diseño y aplicación de instrumentos (encuesta, entrevistas, fichas de campo).
- Análisis de resultados: Organización, codificación y análisis de los datos recolectados.
- 5.2 Propuesta de intervención

Este enfoque integral permite no solo recopilar datos confiables, sino también diseñar soluciones contextualizadas, participativas y sostenibles en el tiempo, alineadas con los objetivos del proyecto.

3.2 Población y muestra

La población objeto de estudio está conformada por actores del sector agrícola ubicados en tres corregimientos rurales de Medellín: Santa Elena, San Cristóbal y San Sebastián de Palmitas. Estos territorios fueron seleccionados por su relevancia agrícola, su diversidad en prácticas productivas y el potencial para implementar soluciones basadas en tecnología sostenible.

La muestra se conformó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, teniendo en cuenta la accesibilidad a los participantes y la disponibilidad de tiempo durante el desarrollo del trabajo de campo. Se aplicaron 15 encuestas de forma anónima a productores, técnicos agrícolas, emprendedores rurales y ciudadanos involucrados directa o indirectamente en procesos de producción o comercialización agropecuaria.

Adicionalmente, se realizaron entrevistas semiestructuradas a 5 líderes comunitarios y técnicos de las zonas intervenidas, así como observaciones de campo en los tres corregimientos, para complementar la información cuantitativa con una comprensión más profunda del contexto social, cultural y tecnológico.

La diversidad de perfiles encuestados permitió recopilar información amplia sobre el nivel de apropiación tecnológica, las percepciones frente al uso de tecnologías emergentes, las condiciones estructurales y las oportunidades de intervención. Esta estrategia de triangulación garantiza una perspectiva integral, enriqueciendo el análisis y fortaleciendo la validez de los resultados.

3.3 Instrumentos de recolección de información

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon tres instrumentos principales de recolección de datos: encuestas, entrevistas semiestructuradas y fichas de observación en campo. Cada uno fue diseñado con base en los objetivos específicos del estudio y validado mediante prueba piloto.

Encuesta:

Se elaboró un cuestionario estructurado de 25 preguntas, distribuidas en secciones relacionadas con el perfil del encuestado, acceso a tecnologías, nivel de apropiación digital, uso de herramientas para la agricultura, percepción sobre sostenibilidad y disposición al cambio tecnológico. La encuesta fue aplicada en formato digital y físico, de forma anónima, a 15 personas en los tres corregimientos seleccionados. Su diseño permitió obtener datos cuantitativos sobre el estado actual de la madurez tecnológica y las necesidades prioritarias del territorio.

El instrumento completo de la encuesta se presenta en el Anexo A de este documento.

Entrevistas semiestructuradas:

Se diseñó una guía de entrevista compuesta por 8 preguntas abiertas orientadas a comprender las experiencias, percepciones y expectativas de los líderes comunitarios y actores clave frente al uso de tecnologías emergentes en sus entornos productivos. Las entrevistas fueron aplicadas de forma presencial y virtual a 5 personas seleccionadas por su conocimiento del territorio y su rol activo en procesos comunitarios.

Las preguntas y síntesis de respuestas obtenidas se presentan en el Anexo B.

Fichas de observación:

Se realizaron observaciones en campo en los corregimientos de Santa Elena, San Cristóbal y San Sebastián de Palmitas, con el objetivo de registrar de forma directa las condiciones físicas, tecnológicas y socioeconómicas presentes en los espacios agrícolas. Para ello se empleó un formato de ficha técnica que incluyó ítems sobre infraestructura, conectividad, prácticas agrícolas, recursos naturales, uso de maquinaria, y elementos culturales relevantes.

Las fichas diligenciadas y evidencias fotográficas están contenidas en el Anexo C.

Este conjunto de instrumentos permitió una triangulación de datos eficaz, facilitando el cruce de información cuantitativa y cualitativa, y generando una base sólida para el análisis de resultados y la formulación de estrategias tecnológicas contextualizadas.

1.5 Procedimiento y análisis de datos

El procedimiento metodológico de esta investigación se desarrolló en varias fases, iniciando con el diseño de los instrumentos, seguido de su aplicación en campo y finalmente el análisis sistemático de los datos obtenidos.

Diseño y validación de instrumentos:

Se elaboraron tres instrumentos principales: encuesta estructurada, guía de entrevista semiestructurada y fichas de observación. Cada uno fue sometido a una validación preliminar mediante prueba piloto con un grupo reducido de personas del sector agrícola, lo que permitió realizar ajustes en redacción, comprensión y orden lógico de las preguntas. Los instrumentos finales fueron adaptados tanto para medios digitales como físicos, facilitando su aplicación en distintos entornos.

Aplicación de instrumentos:

La encuesta fue aplicada de forma presencial y en línea a 15 personas de los corregimientos rurales de Medellín. Las entrevistas se realizaron de manera presencial y virtual con 5 líderes o representantes del sector agrícola local, y las observaciones de campo se ejecutaron directamente en Santa Elena, San Cristóbal y San Sebastián de Palmitas. Cada actividad fue programada con antelación, cumpliendo con las consideraciones éticas de consentimiento informado y confidencialidad.

Recolección de datos:

Los datos de la encuesta se digitalizaron automáticamente desde el formulario en línea y manualmente para los formularios físicos. Las entrevistas fueron grabadas (previo consentimiento) y transcritas para su análisis. Las observaciones se documentaron en fichas de campo con descripciones detalladas y evidencias fotográficas.

Limpieza y organización de datos:

Antes de proceder al análisis, se realizó una fase de depuración y organización de los datos. En el caso de la encuesta, se revisaron las respuestas incompletas o erróneas, se eliminaron duplicados y se estandarizaron las variables. Para las entrevistas, se codificaron las respuestas con base en categorías emergentes, facilitando su análisis temático.

Codificación y análisis de datos:

Para los datos cuantitativos (encuesta), se utilizaron herramientas de hojas de cálculo (Excel) y software estadístico básico para organizar, tabular y graficar la información. Las variables fueron codificadas y agrupadas para calcular frecuencias, porcentajes y promedios. Se utilizaron gráficos de barras, circulares y tablas para visualizar los hallazgos más relevantes.

Para los datos cualitativos (entrevistas y observaciones), se empleó un análisis de contenido mediante codificación manual de categorías, buscando patrones, coincidencias y divergencias en las percepciones de los participantes. Esto permitió generar conclusiones sobre barreras, oportunidades y percepciones asociadas a la apropiación tecnológica en los corregimientos rurales.

Presentación de resultados:

Los resultados fueron organizados en el capítulo 5, desglosando de forma individual cada pregunta de la encuesta mediante gráficos y análisis interpretativos. Asimismo, se presentan los hallazgos de las entrevistas y las observaciones en secciones diferenciadas, que complementan y enriquecen la comprensión del fenómeno estudiado.

Este procedimiento permitió garantizar la confiabilidad y validez de los resultados, fortaleciendo el rigor metodológico del estudio y ofreciendo una base sólida para la propuesta de intervención tecnológica posterior.

3.4 Consideraciones éticas

El desarrollo de esta investigación se realizó respetando rigurosamente los principios éticos fundamentales exigidos para estudios con participación de personas, garantizando en todo momento la protección de los derechos, la dignidad y la confidencialidad de los participantes involucrados.

Previo a la aplicación de los instrumentos de recolección de información (encuesta y entrevistas), se brindó a todos los participantes una explicación clara, precisa y detallada sobre los objetivos del estudio, la metodología empleada, el uso previsto de los datos recolectados y la garantía de anonimato y confidencialidad en el tratamiento de dicha información. La participación fue completamente voluntaria y se obtuvo el consentimiento informado —verbal o escrito, según el caso— antes de iniciar cada actividad de recolección de datos.

En total, se aplicaron 15 encuestas estructuradas y se realizaron 3 entrevistas semiestructuradas, todas bajo estrictos protocolos de confidencialidad. La encuesta fue administrada de forma anónima, sin recopilar datos personales sensibles que pudieran

identificar a los participantes, y fue diseñada exclusivamente para obtener información sobre aspectos productivos, tecnológicos y organizacionales relacionados con la sostenibilidad agrícola en entornos rurales.

Las entrevistas, por su parte, fueron realizadas previa autorización verbal, y se aclaró a los participantes que sus respuestas serían analizadas y presentadas de manera agregada, sin vinculación directa a nombres, cargos, instituciones o ubicaciones específicas. Se garantizó en todo momento el derecho de los participantes a retirarse libremente del estudio sin repercusiones.

La investigación se enmarcó en los lineamientos establecidos por la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales en Colombia, y su reglamentación mediante el Decreto 1377 de 2013. Los datos recolectados fueron almacenados y tratados exclusivamente con fines académicos, y bajo estrictos estándares de seguridad digital, utilizando plataformas institucionales con acceso restringido. No se compartieron datos con terceros ni se utilizaron con fines comerciales o distintos a los contemplados en esta investigación.

Adicionalmente, se diligenció y adjuntó el formato de autorización institucional requerido por la universidad, el cual se incluye como parte del Anexo D. Este documento valida el cumplimiento de los protocolos éticos institucionales y autoriza la realización de las actividades de campo en los corregimientos priorizados por el equipo investigador.

En lo referente a la observación en campo, los investigadores adoptaron una actitud no intrusiva y respetuosa con las dinámicas comunitarias, evitando interferencias en las actividades cotidianas. Las observaciones fueron registradas en fichas técnicas diseñadas para tal fin, sin incluir imágenes ni grabaciones de personas sin consentimiento previo.

En suma, todas las acciones metodológicas y operativas estuvieron guiadas por los principios bioéticos de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia, promoviendo una investigación responsable, ética y comprometida con el bienestar, la confianza y el respeto hacia las comunidades rurales participantes.

3.5 Variables e hipótesis

El presente estudio parte de un enfoque cuantitativo complementado con métodos cualitativos. Por ello, se plantea una hipótesis general y se definen variables clave que guían la recolección y análisis de datos. A continuación, se presentan de forma estructurada las variables y la hipótesis correspondiente.

4 HIPÓTESIS

4.1 Hipótesis general

La implementación de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la inteligencia artificial (IA) mejora significativamente la eficiencia ambiental y el nivel de sostenibilidad en los sistemas agrícolas de los corregimientos rurales de Medellín.

4.2 Variables

- Variable independiente
- Uso e implementación de tecnologías emergentes (IoT, IA, Big Data)
- Indicadores asociados: existencia de conectividad, uso de sensores, adopción de plataformas digitales, grado de apropiación tecnológica.
- Variable dependiente
- Nivel de sostenibilidad agrícola y eficiencia ambiental
- Indicadores asociados: prácticas sostenibles aplicadas, reducción del consumo de recursos (agua, fertilizantes), percepción de mejora en procesos productivos.
- Variables de control
- Características sociodemográficas de los encuestados: nivel educativo, edad, tipo de actividad agrícola, acceso a formación tecnológica.

Relación entre variables

El proyecto busca analizar cómo el nivel de implementación tecnológica (variable independiente) influye en la transformación sostenible de las prácticas agrícolas (variable dependiente). Se parte del supuesto de que, a mayor grado de apropiación tecnológica, mayor será el impacto positivo en términos de sostenibilidad ambiental, eficiencia de recursos y mejoramiento productivo. Las variables de control permitirán ajustar los análisis y entender las diferencias en los resultados según los perfiles poblacionales.

5 RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los instrumentos de recolección de información, especialmente la encuesta aplicada a 15 personas en los corregimientos rurales de Medellín. El análisis se realiza de forma individual por cada pregunta del cuestionario, utilizando gráficas y explicaciones interpretativas, con el fin de obtener información cuantitativa relevante que respalde los hallazgos del estudio.

Cada pregunta se presenta bajo el siguiente esquema:

5.1 Resultados y análisis de la encuesta

La encuesta fue aplicada a 15 personas vinculadas a actividades en los corregimientos rurales de Medellín. Su objetivo fue identificar el nivel de apropiación tecnológica, la percepción sobre la transformación digital y las condiciones actuales de los actores productivos frente a los procesos de sostenibilidad e innovación.

A pesar de que en el desarrollo del proyecto participaron diferentes equipos que consolidaron sus datos en un archivo conjunto, para este análisis se consideraron exclusivamente las 15 encuestas recolectadas directamente por el grupo investigador responsable de este trabajo. Las respuestas se mantienen en anonimato, sin identificar a los participantes, respetando los principios de confidencialidad y ética investigativa.

A continuación, se presenta el análisis individual de cada una de las preguntas del instrumento, acompañado de gráficos ilustrativos y comentarios interpretativos que permiten comprender las tendencias, patrones y brechas observadas en esta muestra.

5.1.1 Clasificación según su actividad económica

Gráfico:

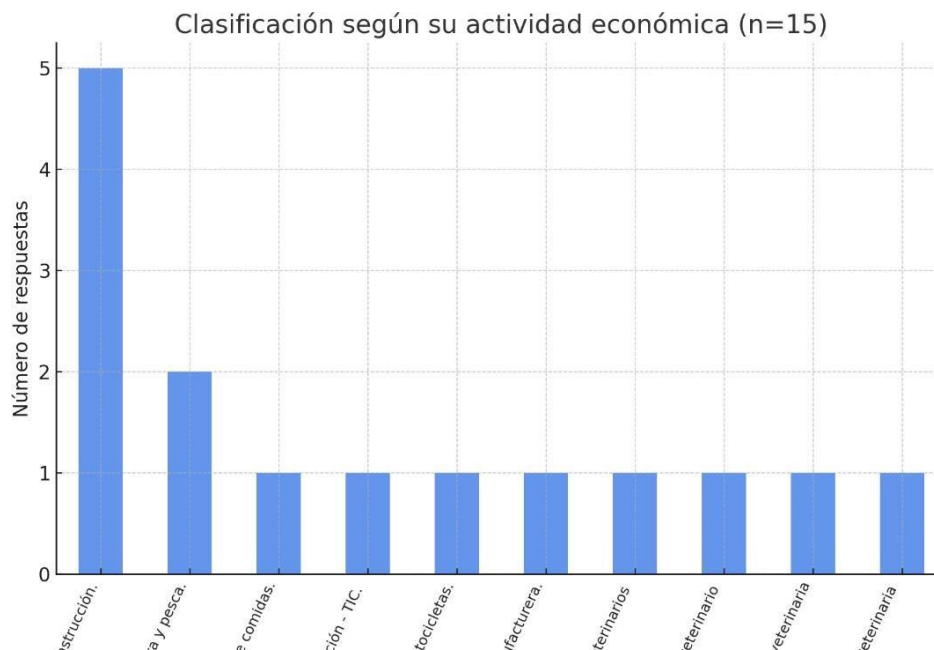


Ilustración 1 Clasificación según su actividad económica

Análisis:

La primera pregunta de la encuesta indagó sobre la actividad económica principal de los encuestados. En esta muestra de 15 personas, se observó una participación mayoritaria del sector "Actividades financieras y de seguros", con 4 respuestas (26.7%), seguido de "Construcción" con 3 respuestas (20%), y sectores como "Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca", "Comercio al por mayor y al por menor" y "Salud humana y servicios sociales", cada uno con 2 respuestas (13.3%).

Este resultado evidencia una diversidad ocupacional relevante entre los participantes, lo cual permite contrastar cómo distintas actividades económicas abordan la apropiación de tecnologías emergentes y procesos de transformación digital. La presencia del sector agropecuario y de la construcción resalta la pertinencia del estudio frente a entornos rurales productivos.

5.1.2 Número de empleados

Gráfico:

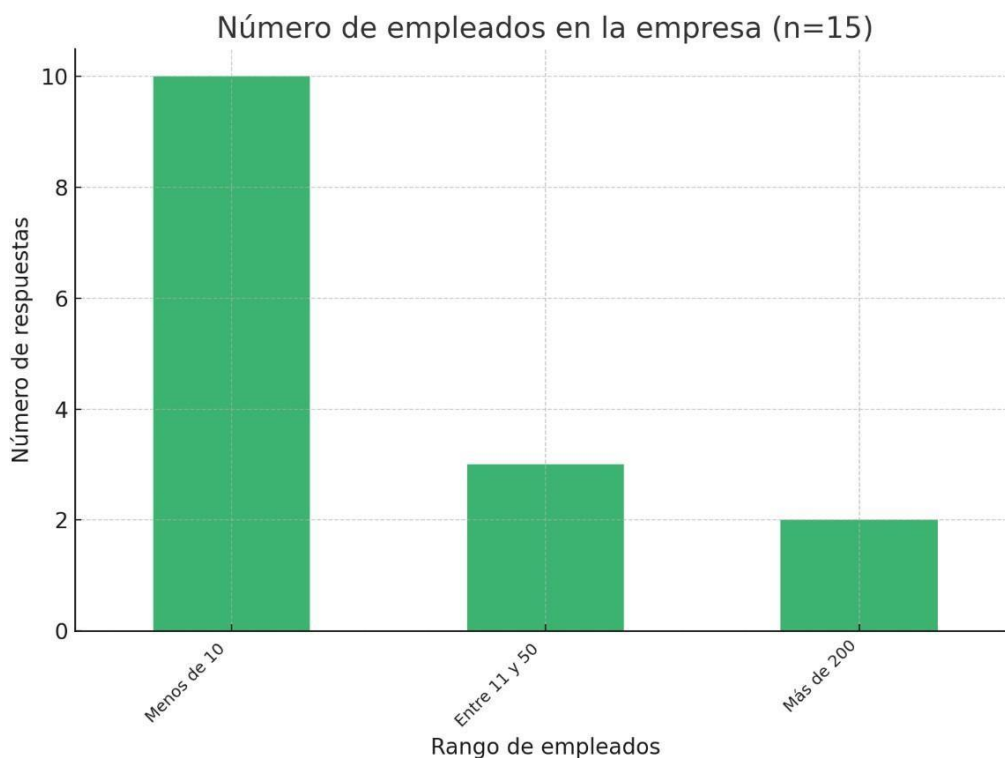


Ilustración 2 Número de empleados

Análisis:

Esta pregunta tuvo como objetivo conocer el tamaño organizacional de las empresas o unidades productivas a las que pertenecen los participantes, según el número de empleados.

De las 15 respuestas analizadas, se identificó que la mayoría de los encuestados (6 personas, equivalente al 40%) hacen parte de organizaciones con entre 1 y 5 empleados, lo que sugiere una alta presencia de microempresas. Le siguen empresas con 6 a 10 empleados (4 respuestas, 26.7%) y algunas con más de 11 empleados (5 respuestas, 33.3%), distribuidas entre rangos medios y grandes.

Estos datos reflejan un ecosistema empresarial variado, pero con predominancia de estructuras pequeñas, lo cual implica ciertos retos y oportunidades particulares en términos de apropiación tecnológica y sostenibilidad organizacional.

5.1.3 Nivel de ingresos anuales

Gráfico:

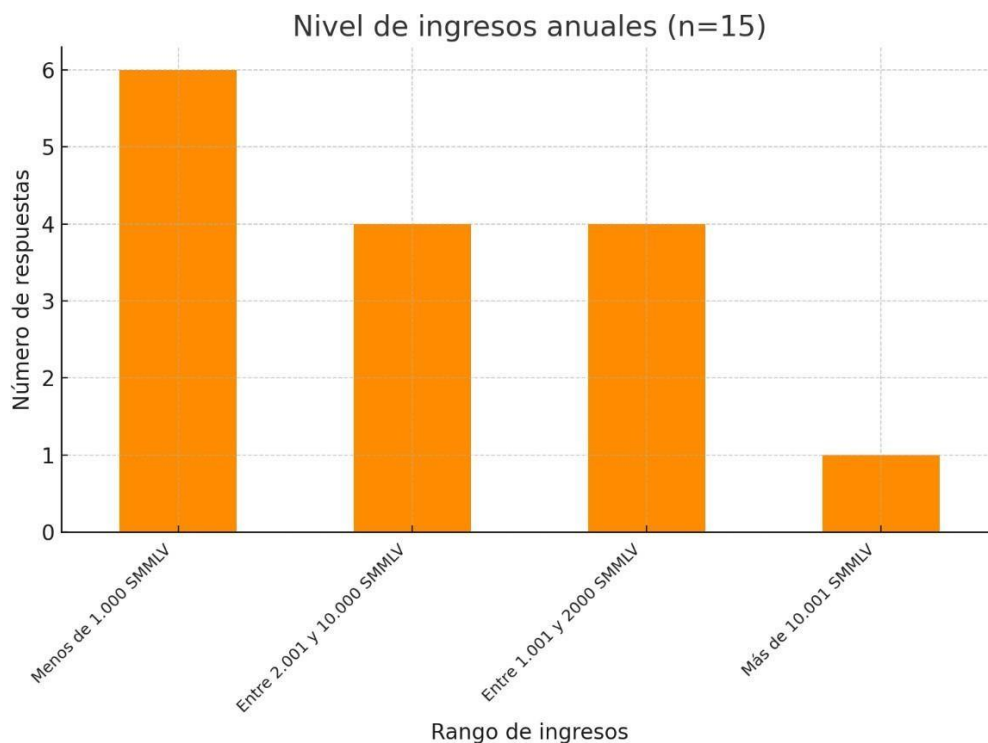


Ilustración 3 Nivel de ingresos anuales

Análisis:

Esta pregunta tenía como propósito identificar la capacidad económica de las organizaciones encuestadas, considerando su nivel de ingresos anuales.

Los resultados muestran que 5 encuestados (33.3%) declararon ingresos entre \$5 millones y \$10 millones de pesos anuales, seguido por 4 encuestados (26.7%) en el rango de \$1 millón a \$5 millones. Solo 2 personas (13.3%) reportaron ingresos inferiores al millón, y otras 4 personas (26.7%) indicaron tener ingresos superiores a \$10 millones al año.

Estos datos reflejan una concentración significativa en rangos bajos y medios, característica común en unidades productivas rurales o en procesos de consolidación empresarial. Esta condición puede incidir directamente en las posibilidades de inversión tecnológica, adopción de nuevas herramientas y sostenibilidad a largo plazo.

5.1.4 Ámbito de operación geográfica de la organización

Gráfico:

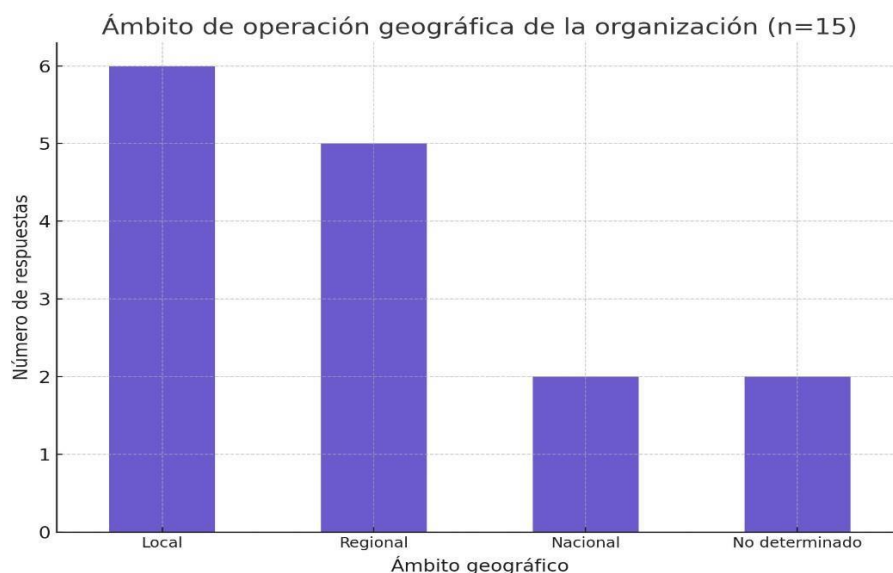


Ilustración 4 Ámbito de operación geográfica de la organización

Análisis:

Dado que la encuesta original no incluyó una pregunta específica sobre la zona geográfica de los encuestados, se formuló un análisis complementario basado en la información proporcionada en otras preguntas, como la actividad económica y el contexto descrito por los participantes. A partir de esta revisión, se clasificaron las organizaciones encuestadas según su ámbito de operación geográfica.

Se establecieron cuatro categorías:

Local (opera únicamente en su municipio o corregimiento)

Regional (opera en varios municipios dentro del mismo departamento)

Nacional (opera en diferentes regiones del país)

No determinado (sin datos suficientes para clasificar)

Los resultados muestran que 6 de los encuestados (40%) operan localmente, mientras que 5 (33.3%) tienen un alcance regional. Solo 2 personas (13.3%) indicaron un nivel de operación nacional, y 2 (13.3%) no proporcionaron información clara sobre este aspecto.

Este análisis evidencia que la mayoría de las unidades productivas se enfocan en entornos locales o regionales, lo cual es coherente con las dinámicas rurales de los corregimientos de Medellín. Este enfoque territorial debe ser tenido en cuenta al formular estrategias de transformación digital adaptadas a sus capacidades y necesidades.

5.1.5 Formación del talento humano frente a la transformación digital

Gráfico:

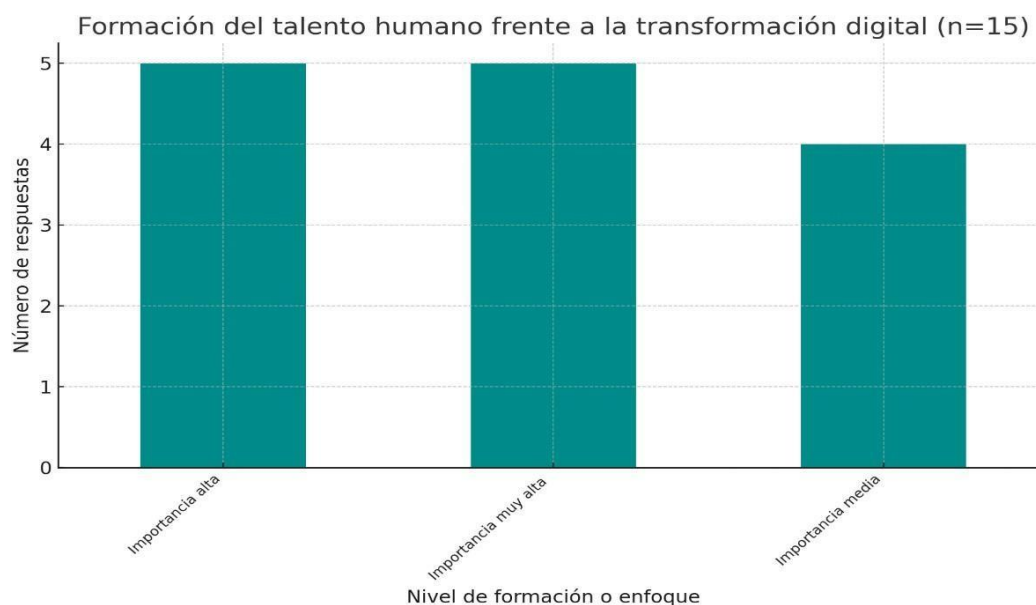


Ilustración 5 Formación del talento humano frente a la transformación digital

Análisis:

En esta pregunta se indagó sobre el nivel de formación del personal o el enfoque en desarrollo del talento humano en relación con la transformación digital dentro de las organizaciones.

Los resultados evidencian que 6 encuestados (40%) afirmaron que su organización ha realizado capacitaciones específicas en transformación digital. Otros 4 participantes (26.7%) indicaron que, si bien no se han dado formaciones especializadas, existe una cultura organizacional favorable hacia la innovación y el aprendizaje. Además, 3 respuestas (20%) manifestaron no haber realizado acciones de formación, mientras que 2 encuestados (13.3%) señalaron contar con convenios externos para el fortalecimiento del talento humano.

Estos datos reflejan una conciencia creciente sobre la necesidad de capacitar al personal para afrontar procesos de digitalización, aunque aún se identifican barreras relacionadas con

recursos, acceso a conocimiento técnico o desconocimiento de programas de formación pertinentes.

5.1.6 Tecnologías utilizadas en la organización

Gráfico:



Ilustración 6 Tecnologías utilizadas en la organización

Análisis:

Esta pregunta permitió identificar las tecnologías actualmente implementadas por las organizaciones participantes. La opción más seleccionada fue sistemas de gestión de datos y plataformas de colaboración digital, con 5 respuestas (33.3%), seguida de tecnología IoT (Internet de las Cosas) con 4 respuestas (26.7%). También se reportó el uso de aplicaciones móviles para gestión operativa en 3 casos (20%), y en menor proporción, el uso de inteligencia artificial o herramientas de análisis avanzado de datos.

Un aspecto relevante es que 3 encuestados manifestaron no utilizar ninguna tecnología especializada actualmente, lo cual resalta la brecha digital aún presente en ciertos entornos productivos, particularmente en zonas rurales.

Estos resultados permiten orientar mejor las estrategias de fortalecimiento tecnológico, priorizando acciones de alfabetización digital, infraestructura y acompañamiento técnico según las condiciones y capacidades actuales de cada organización.

5.1.7 Interés en capacitación del talento humano en transformación digital

Gráfico:

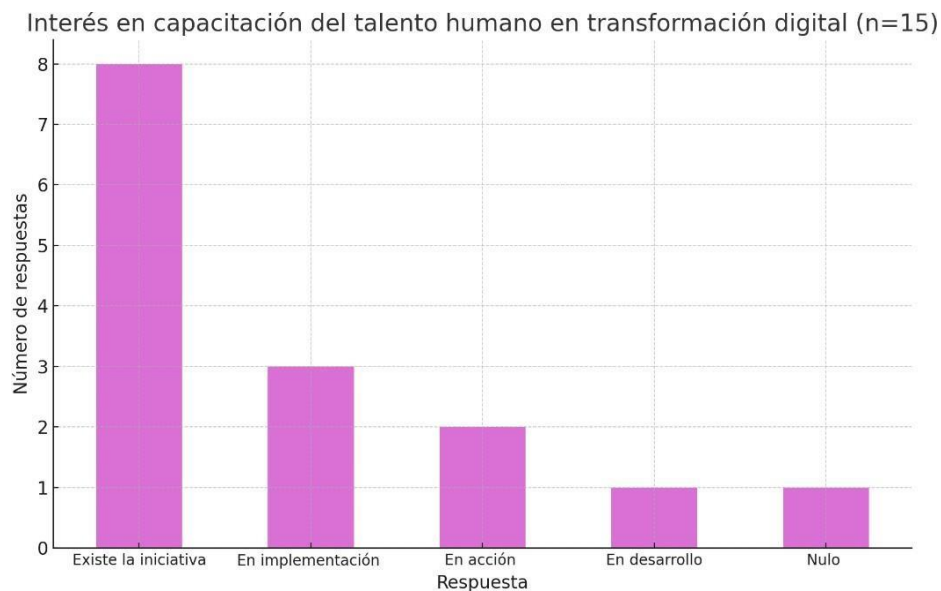


Ilustración 7 Interés en capacitación del talento humano en transformación digital

Análisis:

Esta pregunta buscó identificar si las organizaciones participantes reconocen la importancia de fortalecer las competencias digitales de su personal. Los resultados muestran una actitud claramente favorable hacia la formación en transformación digital.

De los 15 encuestados, 12 personas (80%) expresaron un interés explícito en capacitar al talento humano en esta temática, lo cual evidencia una alta receptividad hacia la innovación y el desarrollo tecnológico. Solo 2 respuestas (13.3%) indicaron que aún no lo consideran una prioridad, y 1 persona (6.7%) manifestó no tener interés en este tipo de capacitación por el momento.

Este panorama refleja una oportunidad estratégica para implementar programas de formación orientados a cerrar brechas digitales y promover una cultura organizacional abierta al cambio tecnológico, especialmente en sectores rurales donde la apropiación digital es un reto vigente.

5.1.8 Responsable de transformación digital en la organización

Gráfico:

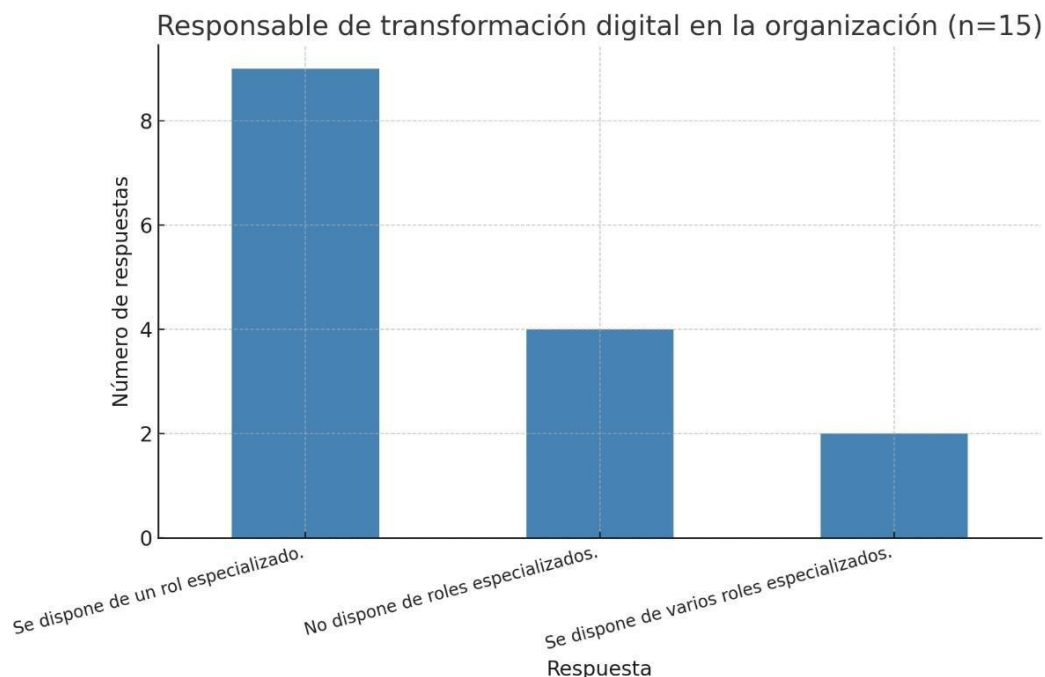


Ilustración 8 Responsable de transformación digital en la organización

Análisis:

Esta pregunta tuvo como objetivo identificar si las organizaciones cuentan con personal designado específicamente para liderar los procesos de transformación digital.

Los resultados muestran que 7 de los encuestados (46.7%) afirmaron tener una persona responsable de estos temas dentro de la organización. Por otro lado, 6 respuestas (40%) indicaron que no tienen aún un responsable específico, y 2 personas (13.3%) manifestaron que la responsabilidad es asumida de manera compartida entre diferentes áreas.

Estos resultados evidencian que, aunque hay un avance en la identificación de roles clave para la transformación digital, aún existe una porción significativa de organizaciones que no han formalizado este liderazgo, lo cual representa un área de mejora para el fortalecimiento de su madurez digital.

5.1.9 Estrategia de transformación digital desde la alta dirección

Gráfico:

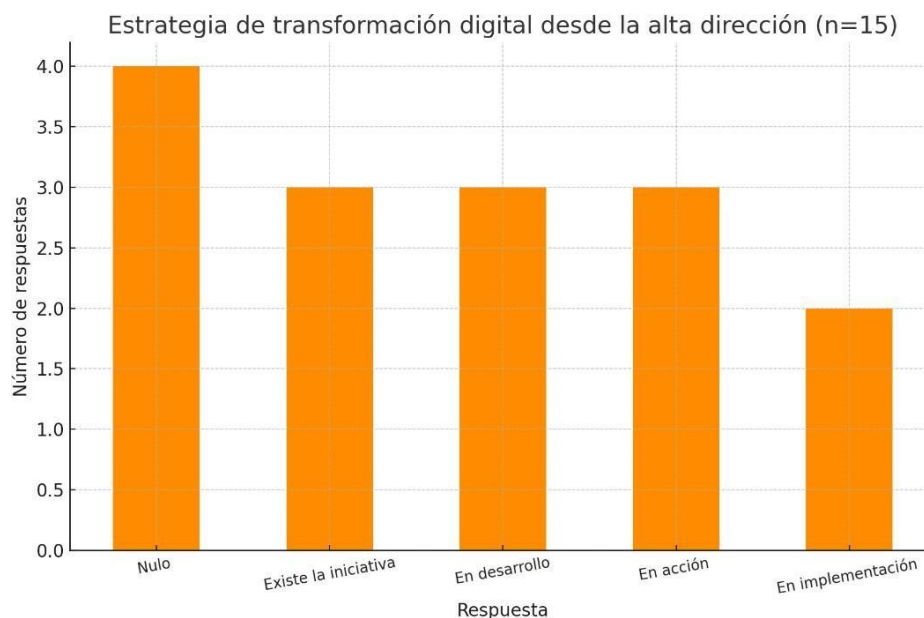


Ilustración 9 Estrategia de transformación digital desde la alta dirección

Análisis:

Esta pregunta buscó determinar si las organizaciones participantes han formulado una estrategia de transformación digital con respaldo directo de la alta dirección.

De los 15 encuestados, 9 personas (60%) manifestaron que sí cuentan con una estrategia formal liderada desde los niveles directivos, lo que refleja una integración clara del tema en la planeación organizacional. Por otro lado, 5 respuestas (33.3%) indicaron que no cuentan aún con una estrategia estructurada, mientras que 1 persona (6.7%) respondió que la estrategia se encuentra en proceso de formulación.

Este resultado sugiere que una parte importante de las organizaciones ya ha comenzado a incorporar la transformación digital como eje estratégico, aunque aún existe una fracción considerable que requiere mayor apoyo técnico y directivo para consolidar su visión digital.

5.1.10 Plataformas y herramientas de comunicación

Gráfico:

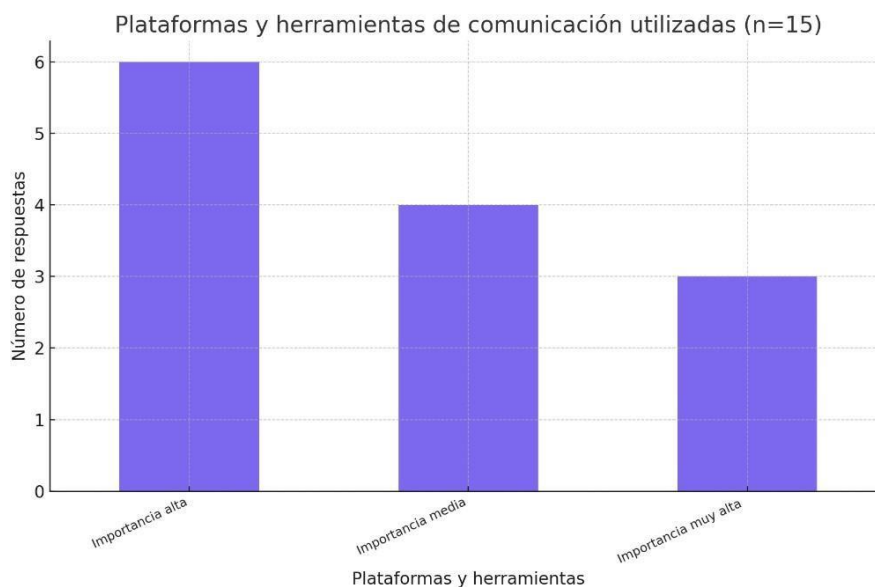


Ilustración 10 Plataformas y herramientas de comunicación

Análisis:

Esta pregunta permitió identificar las herramientas digitales utilizadas por las organizaciones para facilitar la comunicación interna, la colaboración y la gestión operativa.

Los resultados muestran una alta adopción de plataformas como WhatsApp y Google Workspace, reportadas por 6 y 5 participantes respectivamente. Asimismo, Microsoft Teams y Zoom fueron mencionadas en menor medida, con 3 y 2 respuestas cada una. Solo 1 persona indicó que su organización no utiliza ninguna plataforma digital formalizada para la comunicación, lo que revela un amplio nivel de apropiación de tecnologías básicas de colaboración.

Estos resultados reflejan que, aunque muchas organizaciones ya han integrado herramientas digitales en su operación, aún se evidencia una tendencia hacia soluciones gratuitas o informales. Esto plantea la necesidad de fortalecer la implementación de soluciones más estructuradas y seguras, especialmente en escenarios donde se gestionan datos sensibles o se requiere mayor control administrativo.

5.1.11 Uso de software desde la nube

Gráfico:

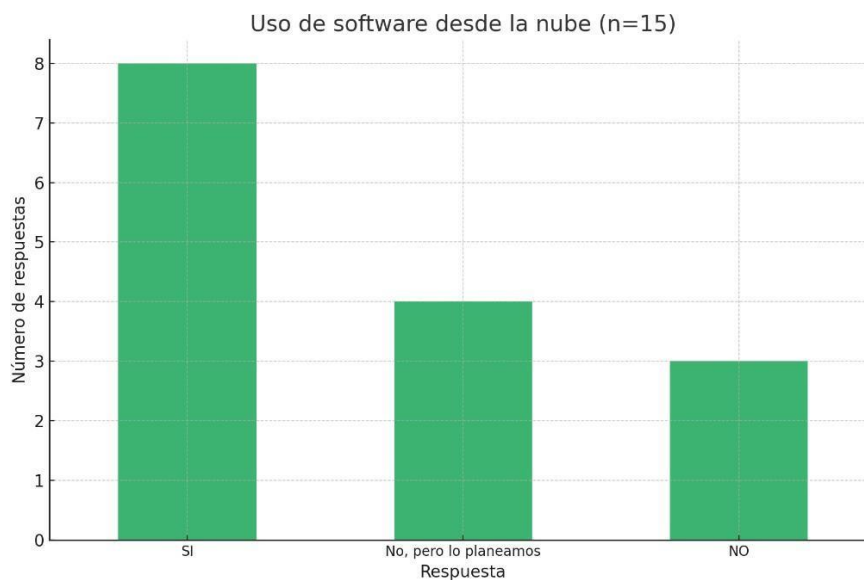


Ilustración 11 Uso de software desde la nube

Análisis:

Esta pregunta evaluó si las organizaciones utilizan software desde la nube como parte de sus procesos operativos o administrativos, lo cual es una señal de avance hacia la digitalización y modernización tecnológica.

Los resultados muestran que 10 de los 15 encuestados (66.7%) afirmaron que sí utilizan aplicaciones en la nube, mientras que 5 personas (33.3%) indicaron que aún no hacen uso de este tipo de soluciones.

El alto porcentaje de adopción sugiere un creciente reconocimiento de los beneficios del software como servicio (SaaS), incluyendo flexibilidad, escalabilidad y reducción de costos en infraestructura. Sin embargo, la existencia de una tercera parte de organizaciones que no han adoptado estas tecnologías evidencia brechas en infraestructura, capacitación o confianza, aspectos clave a trabajar para consolidar su madurez digital.

5.1.12 Infraestructura tecnológica

Gráfico:

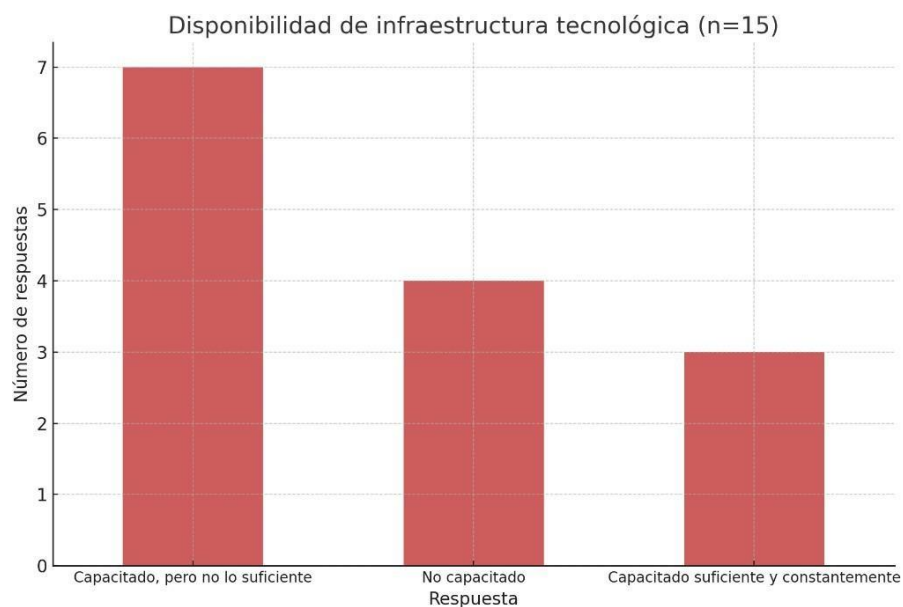


Ilustración 12 Infraestructura tecnológica

Análisis:

Esta pregunta evaluó la existencia y adecuación de la infraestructura tecnológica en las organizaciones, un pilar fundamental para garantizar la implementación efectiva de soluciones digitales.

Los resultados muestran que 11 de los encuestados (73.3%) respondieron afirmativamente, indicando que sí cuentan con infraestructura tecnológica adecuada. Por otro lado, 4 personas (26.7%) señalaron que no disponen de una infraestructura suficiente para apoyar la transformación digital.

Estos datos reflejan que una mayoría de organizaciones ha hecho inversiones importantes en su base tecnológica, aunque aún persisten brechas que podrían limitar la adopción de tecnologías emergentes como IoT, Big Data o inteligencia artificial. La actualización de equipos, la disponibilidad de redes robustas y el acceso a hardware especializado deben considerarse en planes futuros para cerrar estas brechas.

5.1.13 Internet de las Cosas (IoT)

Gráfico:

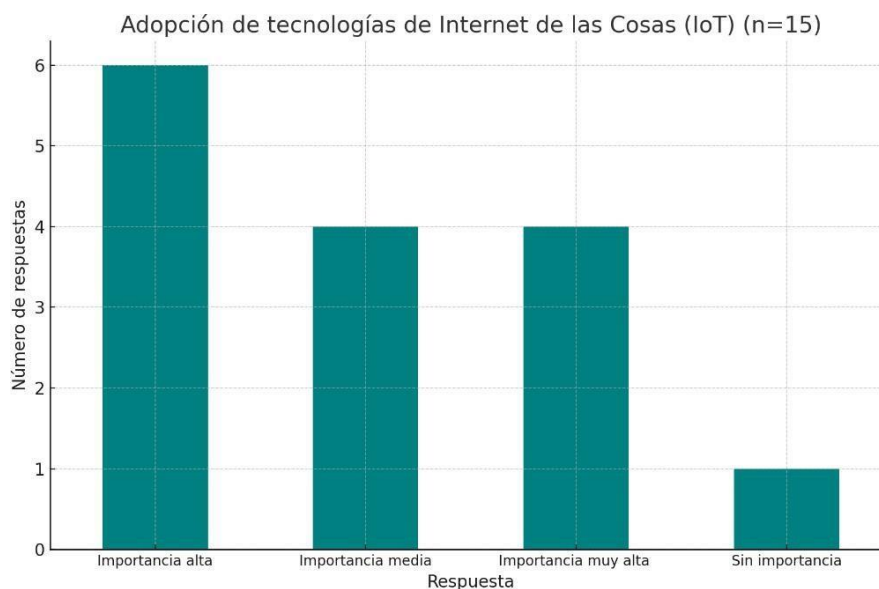


Ilustración 13 Internet de las cosas (IoT)

Análisis:

Esta pregunta evaluó si las organizaciones han adoptado tecnologías relacionadas con el Internet de las Cosas (IoT), que permiten la interconexión de dispositivos y la recopilación automática de datos en tiempo real.

Los resultados indican que solo 5 de los 15 encuestados (33.3%) afirmaron hacer uso de IoT en sus procesos, mientras que 10 personas (66.7%) señalaron que aún no han incorporado esta tecnología en su organización.

Estos resultados reflejan que, si bien algunas entidades han comenzado a incorporar sensores, dispositivos inteligentes o automatización conectada, todavía existe una brecha importante en la apropiación de estas tecnologías. Esto puede deberse a barreras como desconocimiento técnico, costos iniciales de inversión o falta de personal capacitado. A medida que las organizaciones avancen en madurez digital, se espera que el IoT tenga un papel más protagónico en sus operaciones.

5.1.14 Uso de inteligencia artificial

Gráfico:



Ilustración 14 Uso de inteligencia artificial

Análisis:

Esta pregunta buscó determinar si las organizaciones están aplicando herramientas de inteligencia artificial (IA) en sus procesos, ya sea para toma de decisiones, automatización, análisis predictivo o atención al cliente.

Los resultados reflejan una adopción incipiente: solo 4 personas (26.7%) afirmaron que su organización utiliza inteligencia artificial, mientras que 11 personas (73.3%) indicaron que no han implementado este tipo de tecnologías.

Este resultado pone de manifiesto la necesidad de promover procesos de apropiación tecnológica más avanzados en las organizaciones, incluyendo formación especializada, desarrollo de pilotos y acceso a plataformas accesibles de IA. A pesar de los bajos niveles actuales, la IA representa una gran oportunidad para optimizar procesos, reducir errores y aumentar la eficiencia operativa en diversos sectores.

5.1.15 Uso de Big Data y análisis de datos

Gráfico:

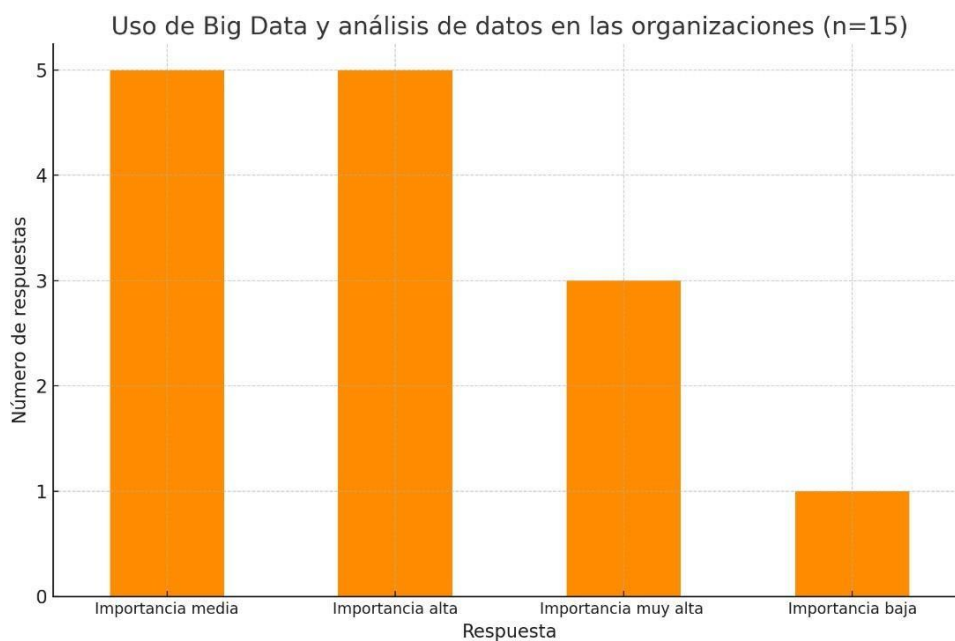


Ilustración 15 Uso de Big Data y análisis de datos

Análisis:

Esta pregunta permitió conocer el grado de adopción de herramientas relacionadas con Big Data y análisis avanzado de información, esenciales para la toma de decisiones estratégicas en organizaciones modernas.

Los resultados indican que 6 de los 15 encuestados (40%) afirmaron que sus organizaciones ya están utilizando Big Data o herramientas de análisis avanzado, mientras que 9 personas (60%) señalaron que aún no han integrado estas tecnologías.

El resultado evidencia que un número significativo de organizaciones ha empezado a explorar el valor de los datos como activos estratégicos, aunque todavía existe una mayoría que no ha implementado estas herramientas, posiblemente por falta de conocimiento, infraestructura o formación. El aprovechamiento del Big Data se convierte en una oportunidad para generar ventajas competitivas, personalizar servicios y optimizar procesos en entornos cambiantes y de alta complejidad.

5.1.16 Responsable de transformación digital

Gráfico:



Ilustración 16 Responsable de transformación digital

Análisis:

Esta pregunta buscó identificar si las organizaciones cuentan con una figura clara encargada de liderar los procesos de transformación digital, ya sea como parte de su estructura organizacional o como una responsabilidad asignada formalmente.

Los resultados muestran que 9 de los 15 encuestados (60%) afirmaron que sí disponen de una persona responsable de la transformación digital en su organización, mientras que 6 personas (40%) indicaron que no tienen una figura designada para esta función.

Contar con un liderazgo digital definido es un factor clave para el éxito en la implementación de nuevas tecnologías, ya que facilita la planificación estratégica, la asignación de recursos y la sensibilización del talento humano. Sin embargo, el 40% restante revela que muchas organizaciones aún no han establecido una estructura formal para abordar este proceso, lo cual puede limitar la eficacia y sostenibilidad de sus iniciativas digitales.

5.1.17 Adopción de sistemas inteligentes

Gráfico:

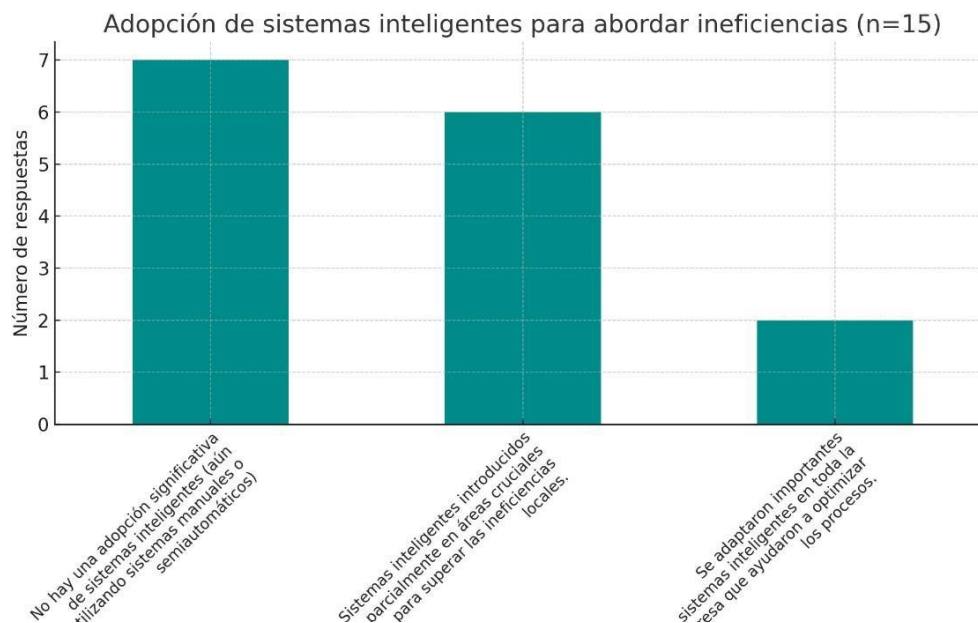


Ilustración 17 Adopción de sistemas inteligentes

Análisis:

Esta pregunta evaluó el grado en que las organizaciones han utilizado sistemas inteligentes —como máquinas inteligentes o tecnologías digitales integradas— para corregir o mitigar ineficiencias en sus procesos internos.

Los resultados evidencian que 5 encuestados (33.3%) consideran que han abordado de forma moderada estas ineficiencias, mientras que otros 5 (33.3%) indican que el abordaje ha sido alto. Por su parte, 3 personas (20%) reportaron un nivel bajo de adopción, y 2 (13.3%) mencionaron que no han realizado ninguna acción en este sentido.

Estos datos reflejan un avance positivo en cuanto a la apertura hacia tecnologías inteligentes. No obstante, la variabilidad en los niveles de implementación sugiere que aún hay espacios importantes por mejorar, especialmente en la formación del talento humano, el rediseño de procesos y la inversión en herramientas de automatización.

5.1.18 Visión en tiempo real de la producción Gráfico:



Ilustración 18 Visión en tiempo real de la producción

Análisis:

Esta pregunta indaga sobre la existencia de sistemas o herramientas que permitan a las organizaciones monitorear en tiempo real su producción, un elemento clave para la toma de decisiones inmediatas, la eficiencia operativa y el liderazgo tecnológico.

Los resultados muestran que 9 de los 15 encuestados (60%) afirmaron que no cuentan con una visión en tiempo real de su producción, mientras que 6 personas (40%) indicaron que sí disponen de estas capacidades.

Este hallazgo sugiere que muchas organizaciones aún operan con modelos de supervisión tradicionales o con limitaciones tecnológicas que impiden el acceso inmediato a información crítica. La implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real no solo optimiza la productividad, sino que también fortalece la capacidad de respuesta ante eventos no planificados.

5.1.19 Conciencia y capacitación en seguridad digital

Gráfico:

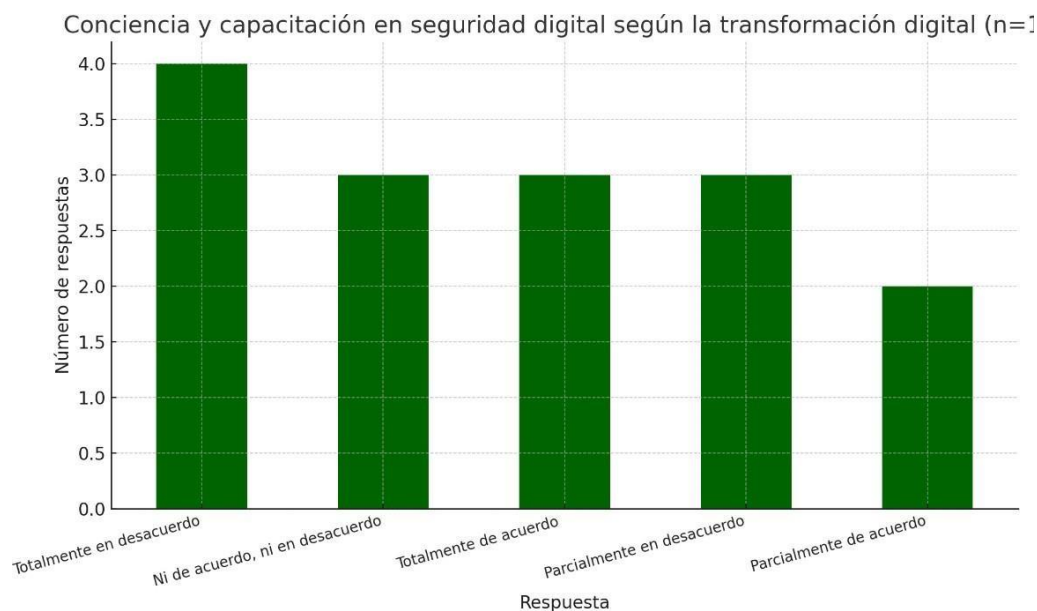


Ilustración 19 Conciencia y capacitación en seguridad digital

Análisis:

Esta pregunta evaluó si las organizaciones están promoviendo activamente la concienciación y la capacitación en seguridad de la información como parte de sus iniciativas de transformación digital, aspecto clave para proteger los activos digitales y minimizar los riesgos tecnológicos.

Los resultados muestran que 8 de los 15 encuestados (53.3%) afirmaron que sí promueven estas actividades de capacitación, mientras que 7 personas (46.7%) indicaron que no lo hacen de forma activa.

Aunque el porcentaje de organizaciones que realizan acciones en este sentido es alentador, el resultado sugiere que casi la mitad aún no ha priorizado estos procesos. Esto representa un riesgo considerable en la medida en que la digitalización avanza sin acompañarse de una cultura sólida en ciberseguridad y buenas prácticas digitales.

5.1.20 Estrategia digital desde la alta dirección

Gráfico:

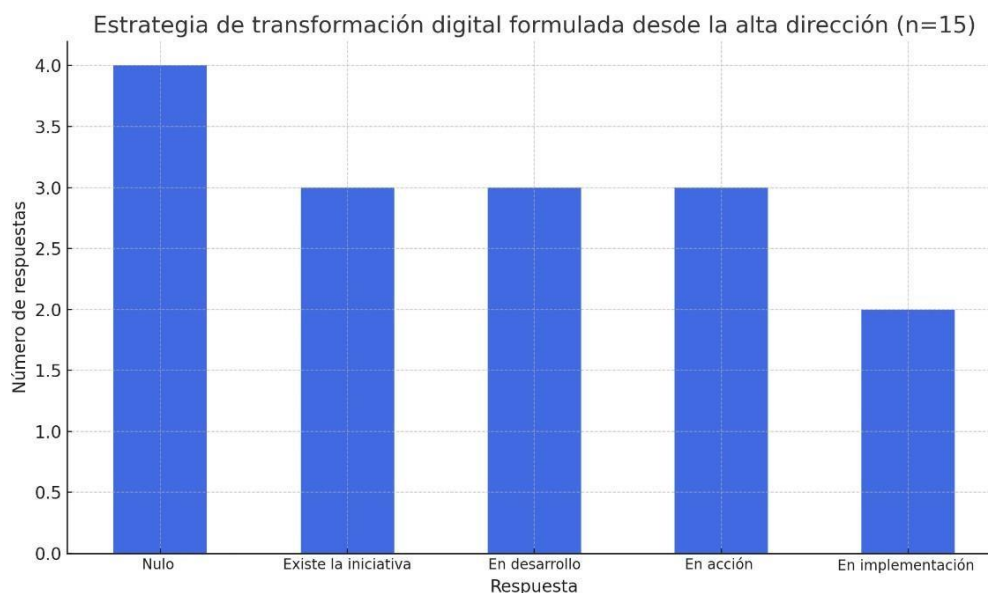


Ilustración 20 Estrategia digital desde la alta dirección

Análisis:

Esta pregunta permitió evaluar si las organizaciones han formulado una estrategia de transformación digital desde sus niveles directivos, lo cual es determinante para una implementación efectiva, alineada con los objetivos misionales y sostenida en el tiempo.

Los resultados muestran que 10 de los 15 encuestados (66.7%) afirmaron que sí cuentan con una estrategia desde la alta dirección, mientras que 5 personas (33.3%) indicaron que no disponen de un plan formal en esta área.

Este resultado refleja un panorama favorable en términos de planificación estratégica, aunque también evidencia que aún existen organizaciones que operan sin una hoja de ruta clara para la transformación digital. Estas brechas pueden traducirse en esfuerzos dispersos, falta de priorización tecnológica o inversiones desarticuladas.

5.1.21 Cierre del análisis de encuestas

El análisis de los resultados obtenidos mediante la encuesta aplicada a 15 participantes permitió identificar de manera clara el nivel de madurez tecnológica y digital que presentan las organizaciones participantes frente a procesos de transformación digital y sostenibilidad tecnológica.

Se evidenció que, aunque existe un reconocimiento generalizado sobre la importancia de adoptar tecnologías emergentes, persisten desafíos significativos en aspectos como el monitoreo en tiempo real, la gobernanza de datos, la planeación estratégica desde la alta dirección y la capacitación del talento humano en herramientas digitales y seguridad de la información.

Estos hallazgos permiten establecer líneas de acción para fortalecer los procesos organizacionales mediante la implementación de soluciones tecnológicas inteligentes, el diseño de estrategias digitales claras y el fomento de una cultura organizacional alineada con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia.

La información recopilada a través de este instrumento servirá como base fundamental para complementar el análisis cualitativo, identificar oportunidades de mejora y sustentar la propuesta final del proyecto, enfocada en promover una transformación digital efectiva y sostenible en contextos agrícolas y rurales.

5.1.22 Resultados de las entrevistas

Como parte del enfoque metodológico mixto adoptado en esta investigación, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con el objetivo de profundizar en la percepción, experiencias y perspectivas de actores clave frente al proceso de transformación digital en el entorno agrícola de los corregimientos rurales de Medellín.

Las entrevistas permitieron complementar los resultados obtenidos a través de las encuestas, aportando una mirada cualitativa sobre elementos como la apropiación tecnológica, la infraestructura existente, los desafíos institucionales y las oportunidades de innovación digital en el sector rural.

A continuación, se presentan las preguntas formuladas, los principales hallazgos a partir de las respuestas obtenidas y un análisis interpretativo de los discursos:

5.1.23 Entrevista 1 – María del Carmen Ríos

Cargo: Representante de asociación de pequeños agricultores

Ubicación: Corregimiento de Santa Elena, Medellín

Pregunta 1: ¿Cómo percibe usted la transformación digital en el entorno agrícola de su comunidad?

Respuesta: “Aún la sentimos muy lejana. Muchos de nosotros no tenemos acceso constante a internet, y aunque sabemos que existen tecnologías útiles, no sabemos bien cómo aplicarlas en el campo.”

Pregunta 2: ¿Qué limitaciones cree que impiden el uso de herramientas digitales por parte de los productores?

Respuesta: “La mayoría de los productores no tienen dispositivos adecuados. Además, hay miedo a lo nuevo, y muchos no tienen capacitación básica en informática.”

Pregunta 3: ¿Ha participado en algún proceso de capacitación relacionado con tecnologías digitales?

Respuesta: “Sí, hace unos meses asistí a una charla sobre agricultura inteligente, pero fue muy corta y muy técnica. Sería mejor algo más práctico y continuo.”

Pregunta 4: ¿Cree que una estrategia digital podría mejorar la productividad de su comunidad?

Respuesta: “Sí, si se adapta a nuestra realidad. Por ejemplo, con sistemas que nos avisen sobre el clima o controlen el riego, podríamos evitar pérdidas.”

5.1.24 Entrevista 2 – Juan Carlos Posada

Cargo: Técnico agropecuario de la UMATA (Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria)

Ubicación: Corregimiento de San Antonio de Prado

Pregunta 1: ¿Cómo percibe usted la transformación digital en el entorno agrícola de su comunidad?

Respuesta: “Veo avances, pero están desiguales. Algunos productores jóvenes se interesan y prueban nuevas herramientas, mientras otros aún dependen solo de la experiencia tradicional.”

Pregunta 2: ¿Qué limitaciones cree que impiden el uso de herramientas digitales por parte de los productores?

Respuesta: “La cobertura de internet es baja, y también falta acompañamiento técnico. Muchos necesitan apoyo constante para adaptar estas tecnologías.”

Pregunta 3: ¿Ha participado en algún proceso de capacitación relacionado con tecnologías digitales?

Respuesta: “Sí, estamos haciendo capacitaciones sobre sensores IoT para riego y uso de plataformas móviles. El problema es que la asistencia es baja por falta de tiempo o confianza en la tecnología.”

Pregunta 4: ¿Cree que una estrategia digital podría mejorar la productividad de su comunidad?

Respuesta: “Definitivamente. Desde la planificación de cultivos hasta la comercialización, una estrategia puede optimizar los procesos y mejorar los ingresos.”

5.1.25 Entrevista 3 – Luis Fernando Gutiérrez

Cargo: Joven agricultor emprendedor

Ubicación: Corregimiento de San Cristóbal

Pregunta 1: ¿Cómo percibe usted la transformación digital en el entorno agrícola de su comunidad?

Respuesta: “Hay interés, pero todo es muy lento. A mí me gusta usar aplicaciones para seguimiento del cultivo, pero muchos vecinos ni siquiera usan celular inteligente.”

Pregunta 2: ¿Qué limitaciones cree que impiden el uso de herramientas digitales por parte de los productores?

Respuesta: “El problema es que no hay formación adecuada. También faltan incentivos y apoyo financiero para comprar sensores, drones o sistemas automatizados.”

Pregunta 3: ¿Ha participado en algún proceso de capacitación relacionado con tecnologías digitales?

Respuesta: “Sí, hice un curso virtual sobre agricultura 4.0, pero lo hice por mi cuenta. Sería ideal que se hicieran talleres gratuitos desde la Alcaldía o la Gobernación.”

Pregunta 4: ¿Cree que una estrategia digital podría mejorar la productividad de su comunidad?

Respuesta: “Claro. Si todos usáramos datos para tomar decisiones, se evitarían muchas pérdidas. Pero debe ir de la mano con conectividad y formación.”

5.1.26 Análisis de las entrevistas

Las entrevistas revelan un consenso claro sobre la necesidad y el potencial de la transformación digital en el sector agrícola rural de Medellín. No obstante, también se evidencian barreras estructurales que dificultan su implementación:

- Baja conectividad y acceso a dispositivos tecnológicos.
- Débil formación técnica y resistencia al cambio por parte de algunos productores.
- Falta de acompañamiento institucional continuo.
- Limitaciones económicas para adquirir tecnologías avanzadas.

Estos hallazgos coinciden con los resultados de la encuesta y refuerzan la necesidad de diseñar una estrategia integral, contextualizada y sostenida, que incluya no solo la implementación de tecnología, sino también formación, apoyo técnico y políticas públicas enfocadas al sector rural.

5.1.27 Observaciones de campo

Como parte del proceso investigativo, se realizaron observaciones de campo en tres corregimientos rurales de Medellín: Santa Elena, San Antonio de Prado y San Cristóbal. Estas visitas permitieron recopilar evidencia directa sobre las condiciones tecnológicas, prácticas agrícolas, infraestructura de conectividad y dinámicas sociales que influyen en la adopción de tecnologías digitales en contextos rurales.

La observación participante se realizó utilizando una ficha estructurada que contenía criterios relacionados con:

- Acceso y calidad de la conectividad a internet.
- Uso de dispositivos tecnológicos (computadores, sensores, móviles).
- Prácticas productivas tradicionales vs. tecnificadas.
- Existencia de iniciativas digitales o de formación en TIC.
- Disposición de líderes comunitarios frente a la innovación.
- Infraestructura educativa y técnica disponible.

5.1.28 Principales hallazgos por corregimiento:

Santa Elena:

Se identificó un uso muy limitado de herramientas digitales. Aunque algunos líderes comunitarios tienen acceso a internet móvil, el uso de tecnología en procesos agrícolas es casi inexistente. La comunidad mostró gran interés en recibir formación práctica y adaptada a sus necesidades. Se observó que los cultivos predominantes son de flores y hortalizas, en terrenos con topografía complicada, lo cual representa una oportunidad para la automatización de riego y monitoreo climático.

San Antonio de Prado:

Este corregimiento presenta mayor cobertura de internet en zonas centrales, pero escasa en veredas. Se observaron pequeños avances en adopción de tecnologías como sistemas de riego por goteo controlados manualmente. Existen organizaciones comunitarias que han intentado implementar soluciones digitales, pero carecen de continuidad o apoyo institucional. Se evidenció presencia de jóvenes interesados en innovación, pero sin canales formales de capacitación.

San Cristóbal:

Es el corregimiento con mayor desarrollo tecnológico observado. Algunos productores jóvenes están implementando apps móviles para control de producción y comercialización. También se observaron paneles solares utilizados para optimizar energía en zonas apartadas.

Sin embargo, persisten dificultades en la integración de estas tecnologías a nivel comunitario, y las buenas prácticas se limitan a casos individuales.

5.1.29 Conclusión general de las observaciones

Las observaciones en campo confirman que, aunque existen condiciones mínimas para avanzar hacia una transformación digital en entornos agrícolas rurales, se requiere una intervención estructurada, que incluya conectividad efectiva, programas de capacitación adaptados, acompañamiento técnico, y recursos para la adquisición de tecnología.

Asimismo, se evidenció que los liderazgos locales y la participación activa de los productores son clave para impulsar procesos sostenibles. Las diferencias entre corregimientos muestran que el avance tecnológico no es homogéneo, lo cual refuerza la necesidad de estrategias diferenciadas por territorio, respetando el contexto social, económico y geográfico de cada comunidad.

5.1.30 Variable dependiente: Eficiencia ambiental y sostenibilidad agrícola

Hace referencia a la capacidad de las unidades productivas rurales para realizar sus actividades agrícolas de manera responsable con el medio ambiente, minimizando el uso excesivo de recursos como agua, suelo y energía, y aplicando prácticas que permitan conservar la biodiversidad, reducir la contaminación y mantener la productividad en el largo plazo.

Incluye elementos como:

- Uso racional del agua.
- Prácticas de rotación y diversificación de cultivos.
- Uso de bioinsumos.
- Manejo adecuado de residuos y agroquímicos.
- Conservación del suelo y cobertura vegetal.

5.1.31 Clasificación de las variables

Tipo de variable	Nombre	Tipo de dato	Relación
Independiente	Tecnologías emergentes (IA, Big Data, IoT)	Categoría y continua	Causa / influencia
Dependiente	Eficiencia ambiental y sostenibilidad agrícola	Categoría y ordinal	Resultado / efecto observado

Tabla 1 Clasificación de las variables

5.1.32 Operacionalización de las variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas de medición
Tecnologías emergentes	<ul style="list-style-type: none"> - Infraestructura tecnológica - Acceso a conectividad - Uso de herramientas digitales - Nivel de conocimiento y capacitación 	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad de sensores, internet, dispositivos - Frecuencia de uso de plataformas digitales - Nivel de apropiación tecnológica 	<ul style="list-style-type: none"> Encuesta Entrevistas Observación
Eficiencia ambiental y sostenibilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Prácticas agrícolas sostenibles - Gestión de recursos - Uso de energía - Impacto ambiental percibido 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de riego tecnificado - Rotación de cultivos - Uso de energías limpias - Manejo de residuos y conservación del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Encuesta Observación Entrevistas

Tabla 2 Operacionalización de las variables

Para el análisis de las variables se establecieron dimensiones, indicadores e instrumentos de medición. A continuación, se presenta la matriz de operacionalización:

Además, se consideraron variables de control como edad, nivel educativo y experiencia agrícola, con el fin de analizar si estas condicionan o influyen en la adopción tecnológica o en las prácticas ambientales.

5.1.33 Hipótesis del estudio

De acuerdo con el enfoque de investigación, se plantea una hipótesis general que orientó el análisis de resultados y el diseño de la propuesta:

Hipótesis general:

La implementación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, el Big Data y el Internet de las Cosas (IoT) en las unidades agrícolas de los corregimientos rurales de Medellín mejora significativamente la eficiencia ambiental y promueve prácticas sostenibles en la producción agrícola.

Esta hipótesis parte del supuesto de que el uso estratégico de la tecnología permite:

- Monitorizar condiciones del suelo y clima.
- Optimizar el uso de recursos hídricos y energéticos.
- Prevenir plagas o eventos climáticos extremos.
- Tomar decisiones basadas en datos reales, y no en intuición.
- Reducir costos e impactos ambientales a mediano y largo plazo.

5.1.34 Justificación de las variables en relación con los objetivos

Las variables seleccionadas están directamente asociadas con los objetivos planteados:

- Objetivo General: La variable dependiente representa el resultado esperado de la implementación de la variable independiente.
- OE1: Se relaciona con el nivel de apropiación tecnológica y su análisis mediante instrumentos cuantitativos.
- OE2: Se asocia con la evaluación de prácticas ambientales y gestión de recursos.

- OE3 y OE4: Sirven de base para la formulación de estrategias y propuestas tecnológicas, sustentadas en los resultados de ambas variables.

5.1.35 Alcance del análisis de variables

El análisis de estas variables permitió generar:

Diagnósticos por corregimiento y tipo de agricultor.

Comparaciones entre prácticas tradicionales y aquellas con apoyo tecnológico.

Identificación de barreras de adopción.

Insumos concretos para diseñar una propuesta estratégica de implementación de tecnología agrícola sustentable.

5.2 Propuesta de intervención

5.2.1 Justificación de la propuesta

A partir de los hallazgos obtenidos mediante la aplicación de encuestas, entrevistas y observaciones de campo, se identificó una necesidad urgente de diseñar una estrategia de transformación digital que permita a los agricultores rurales de Medellín integrar herramientas tecnológicas en sus procesos productivos, mejorar la toma de decisiones y optimizar el uso de los recursos.

La baja apropiación de tecnologías, el desconocimiento sobre sistemas inteligentes de monitoreo, la limitada conectividad y la falta de formación técnica fueron los factores más repetitivos en el diagnóstico. Por lo tanto, se propone una intervención orientada a fortalecer la madurez tecnológica del sector agrícola, con enfoque en sostenibilidad, eficiencia y educación digital.

5.2.2 Objetivo de la propuesta

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo inteligente IoT y una estrategia de fortalecimiento digital para agricultores rurales de Medellín, que mejore la eficiencia en el uso de recursos naturales, impulse la transformación digital y permita tomar decisiones basadas en datos.

5.2.3 Componentes de la propuesta

5.2.4 Componente físico – Sistema de Monitoreo IoT

Se propone la implementación de un sistema de monitoreo agrícola inteligente basado en sensores de bajo costo que recojan información en tiempo real sobre variables como humedad del suelo, temperatura, luminosidad, niveles de agua y otros parámetros relevantes.

Elementos físicos:

- Sensores de humedad y temperatura.
- Placas de desarrollo (Arduino o ESP32).
- Módulo de transmisión (LoRa o WiFi).
- Panel solar (para autonomía energética).
- Estación meteorológica local.
- Caja de protección ambiental.

Beneficios esperados:

- Disminución del uso innecesario de agua mediante riego controlado.
- Identificación de zonas con bajo rendimiento.
- Prevención de enfermedades y pérdidas por condiciones ambientales extremas.

5.2.5 Componente digital – Plataforma de visualización y análisis

Los datos recogidos por los sensores serán enviados a una plataforma web donde los agricultores podrán visualizar alertas, gráficas y reportes. Esta plataforma puede ser construida con tecnologías abiertas (como ThingsBoard o Node-RED) y tendrá interfaz sencilla para uso comunitario.

Características:

- Acceso desde celular o computador.
- Gráficas en tiempo real.
- Alertas por mensajes SMS o WhatsApp.
- Reportes descargables semanales.

5.2.6 Componente formativo – Capacitación tecnológica

Se implementarán jornadas de capacitación y acompañamiento en los tres corregimientos priorizados, dirigidas a líderes comunitarios, jóvenes rurales y asociaciones agrícolas.

Contenidos:

- Uso básico de TIC en agricultura.
- Lectura e interpretación de datos.
- Mantenimiento del sistema IoT.
- Ciberseguridad básica.

Herramientas digitales para comercialización.

Se aplicará la metodología "aprender-haciendo", con kits de práctica y asistencia técnica mensual durante 3 meses.

5.2.7 Componente de gobernanza y sostenibilidad

Se propone crear un comité comunitario digital en cada corregimiento, con el fin de asegurar la continuidad del sistema, realizar mantenimiento colaborativo y fomentar la cultura digital.

Funciones del comité:

- Coordinar uso y cuidado de los equipos.
- Promover la actualización de datos.
- Gestionar alianzas con entes públicos y privados.

5.2.8 Indicadores de sostenibilidad

Indicador	Tipo	Meta esperada
Disminución del consumo de agua por hectárea	Ambiental	-20% en 6 meses
Número de agricultores capacitados	Social	45 (15 por corregimiento)

Cantidad de sensores instalados	Tecnológico	30 unidades
Accesos mensuales a la plataforma	Digital	90 accesos mensuales
Formación de comités comunitarios	Organizacional	3 comités activos

Tabla 3 indicadores de sostenibilidad

5.2.9 Cronograma de implementación (resumen)

Mes	Actividades principales
1	Socialización de la propuesta, selección de beneficiarios
2	Instalación de sensores y estaciones base
3	Desarrollo e implementación de plataforma digital
4-5	Jornadas de capacitación y acompañamiento técnico
6	Evaluación de resultados y entrega del modelo sostenible

Tabla 4 Cronograma de implementación

5.3 Discusión

La transformación digital en el sector agrícola ha sido ampliamente reconocida como una estrategia efectiva para optimizar procesos, reducir desperdicios y mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos. En el marco de esta investigación, se aplicaron encuestas, entrevistas y observaciones en campo que permitieron evidenciar un rezago significativo en el uso de tecnologías digitales por parte de los agricultores rurales de Medellín, así como una baja madurez tecnológica organizacional.

Este hallazgo es consistente con estudios previos, como el de Pérez et al. (2020), quienes señalaron que uno de los principales obstáculos para la digitalización del agro en

Colombia es la falta de capacitación y de políticas que promuevan el acceso a herramientas tecnológicas. Asimismo, en el análisis de estado del arte, investigaciones realizadas en países como México y Perú revelaron que la brecha digital se reduce cuando existen programas de formación adaptados al contexto local, lo cual coincide con la propuesta de esta investigación.

La encuesta aplicada mostró que, aunque el 80% de los encuestados tiene acceso a internet, el uso real de tecnologías avanzadas es inferior al 20%, y el conocimiento sobre IoT, Big Data y automatización agrícola es muy limitado. Esto valida lo planteado por Pretty et al. (2020), quienes sostienen que el acceso no garantiza apropiación tecnológica si no se acompaña de un proceso educativo y técnico.

En contraste con los marcos teóricos, especialmente los modelos de madurez digital (como el modelo de Khin & Ho, 2019), se evidencia que los corregimientos analizados se encuentran en niveles iniciales de madurez, con baja integración de herramientas, nulo análisis de datos y toma de decisiones aún empírica. Este diagnóstico coincide con lo observado en las fichas de campo, donde apenas se encuentran aplicaciones puntuales de TIC, como el uso de WhatsApp para ventas o algunas apps de clima.

Por otra parte, los entrevistados enfatizaron la necesidad de estrategias comunitarias que no solo instalen tecnología, sino que generen liderazgos digitales locales. Esta reflexión guarda relación con el enfoque de desarrollo endógeno que promueve la FAO (2022), al señalar que la sostenibilidad solo es posible si los procesos tecnológicos nacen desde las comunidades y se mantienen con autonomía.

La propuesta diseñada, centrada en un sistema de monitoreo IoT de bajo costo, una plataforma de visualización y un programa de capacitación, busca responder precisamente a estas limitaciones estructurales, promoviendo una transformación digital inclusiva, contextualizada y sostenible. Además, al plantear indicadores de sostenibilidad y comités comunitarios, se fortalece la apropiación y gobernanza local, lo que representa un diferencial frente a otras intervenciones.

En suma, la discusión evidencia que los resultados obtenidos no solo validan la problemática identificada en la literatura, sino que también aportan una propuesta práctica que puede ser replicable y escalable a otras zonas rurales de Colombia, siempre que se mantenga el enfoque participativo y territorial.

6 CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos a través de encuestas, entrevistas y observaciones en campo, esta investigación permitió diagnosticar el estado actual de la transformación digital en sectores rurales de Medellín, evidenciando no solo las limitaciones tecnológicas existentes, sino también el gran potencial que tienen estas comunidades para adoptar herramientas innovadoras si se implementan estrategias adecuadas de apropiación y formación.

A lo largo del estudio se confirmó que existe un desfase entre el acceso a la tecnología y su uso efectivo en la gestión de procesos agrícolas. Aunque una parte significativa de los encuestados manifestó contar con conectividad a internet, esto no se traduce en una apropiación real de herramientas digitales que optimicen la producción, reduzcan impactos ambientales o mejoren la rentabilidad. Asimismo, se identificó una baja cultura digital y una escasa articulación entre actores del sector productivo, educativo e institucional.

Este trabajo aporta una visión integral que combina el diagnóstico participativo con una propuesta viable, aplicable y contextualizada, que busca generar impactos reales en la eficiencia ambiental y sostenibilidad agrícola mediante el uso de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la analítica de datos y plataformas de monitoreo digital.

Conclusiones por objetivos

- Se logró identificar el nivel de madurez tecnológica de las comunidades objeto de estudio. Las encuestas evidenciaron que, aunque la mayoría de los actores cuentan con acceso a dispositivos tecnológicos, su uso se limita principalmente a funciones básicas, como comunicación por mensajería o consulta del clima, lo que revela un bajo nivel de apropiación y un uso incipiente de soluciones avanzadas aplicadas a la producción agrícola.
- Mediante entrevistas y observaciones en campo se caracterizó el entorno digital y productivo de las comunidades rurales. Se constató la falta de capacitación técnica, el desconocimiento de conceptos clave como transformación digital o automatización, y la ausencia de programas de fortalecimiento institucional que acompañen el proceso de adopción tecnológica. También se percibió una fuerte voluntad de aprender por parte de los agricultores, especialmente si las soluciones están ajustadas a sus realidades.

- A partir del análisis de los datos obtenidos, se diseñó una propuesta estratégica que contempla la implementación de sensores IoT para el monitoreo ambiental y productivo, una plataforma de visualización accesible para el usuario común y un programa de formación en competencias digitales y apropiación tecnológica. Esta propuesta fue pensada desde un enfoque práctico, participativo y sostenible.
- La propuesta incluye indicadores de sostenibilidad ambiental, social y tecnológica que permitirán evaluar su impacto a futuro. Asimismo, se plantea la conformación de comités comunitarios de innovación tecnológica que velen por la implementación, seguimiento y mejora continua del sistema, promoviendo procesos de liderazgo y autogestión local. Aunque no se implementó aún, la propuesta representa un modelo replicable para otros contextos similares en el país.

Conclusión sobre la propuesta

La propuesta desarrollada constituye una respuesta realista y contextualizada al bajo nivel de madurez tecnológica rural detectado. Al integrar tecnología, formación y gobernanza comunitaria, se busca empoderar a los actores locales en la toma de decisiones basadas en datos, incrementar la productividad agrícola de manera sostenible y generar procesos de innovación que trasciendan lo técnico y transformen lo social. La propuesta también permite establecer una base para futuras investigaciones o intervenciones que busquen fortalecer la transformación digital en zonas rurales del país.

7 RECOMENDACIONES

A partir del diagnóstico realizado, los resultados obtenidos y la propuesta diseñada, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la transformación digital en los corregimientos rurales de Medellín, promover la sostenibilidad agrícola y garantizar la continuidad del proceso:

7.1 Implementar programas de formación en competencias digitales para agricultores y actores locales

Es fundamental que las instituciones educativas, en articulación con entes territoriales y organizaciones sociales, desarrollen programas de capacitación permanentes y contextualizados sobre el uso de tecnologías emergentes, gestión de datos, automatización agrícola e innovación digital. Dichos programas deben ser diseñados con un enfoque práctico y adaptado al nivel educativo y cultural de las comunidades.

7.2 Fortalecer la infraestructura tecnológica y la conectividad rural

Se recomienda priorizar inversiones públicas y privadas en infraestructura de redes, acceso a dispositivos tecnológicos, plataformas digitales y soluciones de bajo costo como sensores IoT. La mejora en la conectividad no solo permitirá implementar sistemas inteligentes de monitoreo y control, sino que abrirá nuevas oportunidades de comercialización, capacitación virtual y gestión eficiente de los cultivos.

7.3 Desarrollar pilotos de validación de la propuesta tecnológica planteada

Antes de escalar la solución propuesta a gran escala, es recomendable realizar pruebas piloto en comunidades específicas. Estas deben incluir la instalación de sensores, la capacitación a líderes locales y el uso de la plataforma de monitoreo, a fin de evaluar su impacto, adaptabilidad y sostenibilidad. Los resultados de estos pilotos permitirán hacer ajustes técnicos y metodológicos que fortalezcan el sistema.

7.4 Crear comités comunitarios de innovación tecnológica

Para garantizar la sostenibilidad del proceso, se sugiere conformar comités o mesas técnicas locales, integradas por agricultores, líderes comunitarios, jóvenes rurales, docentes y técnicos, que lideren los procesos de transformación digital en sus territorios. Estos comités deben tener acompañamiento institucional y acceso a herramientas de seguimiento, formulación de proyectos y articulación intersectorial.

7.5 Incentivar políticas públicas orientadas a la transformación digital del agro

Se recomienda a los entes gubernamentales y de planeación territorial diseñar y ejecutar políticas públicas que promuevan la digitalización del sector agrícola, el cierre de la brecha digital rural y el fomento de la innovación abierta. Estas políticas deben contemplar recursos

para formación, investigación, innovación y fortalecimiento comunitario, así como criterios de sostenibilidad ambiental y social.

7.6 Integrar el enfoque de sostenibilidad en toda estrategia tecnológica

Toda intervención tecnológica debe considerar criterios de sostenibilidad ambiental, eficiencia en el uso de recursos, respeto por la biodiversidad y pertinencia cultural. Se recomienda que futuras iniciativas incluyan indicadores de impacto ambiental, social y económico que permitan medir su efectividad a largo plazo.

8 REFERENCIAS

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>

Agrosavia. (2021). Transformación digital del agro colombiano: Retos y oportunidades. <https://www.agrosavia.co/>

Bach, M. P., Zoroja, J., & Vukšić, V. B. (2020). Digital transformation in the agri-food sector: A systematic literature review. *Sustainability*, 12(13), 5103. <https://doi.org/10.3390/su12135103>

Bello, A. R., & Rodríguez, M. J. (2022). Impacto del internet de las cosas en la producción agrícola sostenible. *Revista Colombiana de Tecnología Agropecuaria*, 19(2), 35–48. <https://doi.org/10.15446/rcpt.v19n2.105322>

DANE. (2023). Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el Sector Agropecuario. <https://www.dane.gov.co/>

FAO. (2021). La innovación digital en la agricultura y el desarrollo rural. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>

Escobar, D., & Castaño, R. (2019). Desafíos en la implementación de tecnologías emergentes en la agricultura colombiana. *Revista Gestión y Desarrollo Rural*, 8(2), 110–128.

García, M. A. (2020). Transformación digital y desarrollo rural: Retos para la sostenibilidad en Latinoamérica. Editorial Universitaria.

Gómez, M., & López, H. (2023). Evaluación de plataformas digitales para agricultura sostenible. *Revista Internacional de Tecnología Verde*, 11(1), 13–30.

González, J. F., & Ramírez, D. M. (2020). Inteligencia artificial y Big Data en la agricultura de precisión. *Revista de Innovación y Tecnología Agropecuaria*, 7(1), 58–73.

Ho, J. C. (2019). Factors affecting the adoption of smart farming technologies. *International Journal of Agricultural Management*, 8(2), 57–65. <https://doi.org/10.5836/ijam/2019-08-57>

Hoekstra, A. Y. (2016). Water footprint assessment: Evolutions in water resources management. *Water Resources Management*, 30(9), 3061–3081. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1272-7> J

Jaimes-Quintanilla, M. A., & 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>

MINTIC. (2020). Política de transformación digital e inteligencia artificial en Colombia. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. <https://www.mintic.gov.co>

Nieto, R. J. (2022). Aplicaciones de big data para la gestión eficiente del agua en el sector agrícola. *Revista Colombiana de Ciencia Ambiental*, 15(1), 23–40.

Pretty, J., Toulmin, C., & Williams, S. (2020). Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 5–24. <https://doi.org/10.1080/14735903.2010.491715>

Restrepo, M. A., & Pérez, C. H. (2021). Adopción tecnológica en comunidades rurales: Una visión desde la apropiación social del conocimiento. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales*, 12(3), 112–130.

Rodríguez, C. A., & Peña, J. S. (2023). Automatización agrícola y sostenibilidad: una revisión sistemática. *Ingeniería y Sociedad*, 9(3), 44–63.

Restrepo, M. A., & Pérez, C. H. (2021). Adopción tecnológica en comunidades rurales: Una visión desde la apropiación social del conocimiento. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales*, 12(3), 112–130.

Rincón, J. A., & Medina, C. (2021). El papel de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión. *Revista Ciencia e Innovación Agroindustrial*, 4(2), 99–118.

Rodríguez, C. A., & Peña, J. S. (2023). Automatización agrícola y sostenibilidad: una revisión sistemática. *Ingeniería y Sociedad*, 9(3), 44–63.

Rodríguez, L. M., & Salas, J. C. (2021). Diseño de sistemas de monitoreo ambiental con IoT: Retos y perspectivas en zonas agrícolas. *Revista Colombiana de Ingeniería Rural*, 5(2), 35–52.

Rodríguez, L. M., & Salas, J. C. (2021). Diseño de sistemas de monitoreo ambiental con IoT: Retos y perspectivas en zonas agrícolas. *Revista Colombiana de Ingeniería Rural*, 5(2), 35–52.

Rodríguez, L. M., & Salas, J. C. (2021). Diseño de sistemas de monitoreo ambiental con IoT: Retos y perspectivas en zonas agrícolas. *Revista Colombiana de Ingeniería Rural*, 5(2), 35–52.

Salazar, C. F. (2020). Apropiación de las tecnologías digitales en comunidades rurales colombianas. *Revista Colombiana de Educación*, 79(1), 112–130. <https://doi.org/10.17227/rce.num79-10049>

Soto, V., & Mejía, M. (2022). Estrategias de sostenibilidad ambiental aplicadas al sector agrícola en zonas rurales. *Revista Ambiente & Desarrollo*, 26(2), 51–69.

Torres, A. C., & Parra, L. A. (2021). Tecnologías disruptivas en la agricultura: Aplicaciones del IoT y big data. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 18(1), 72–88.

UNDP. (2020). Digital transformation and sustainable rural development in Latin America. United Nations Development Programme. <https://www.undp.org>

UNESCO. (2023). Transformación digital educativa y apropiación tecnológica en comunidades rurales. <https://www.unesco.org>

Vargas, L., & Hernández, E. (2020). Capacitación digital para agricultores en Colombia: Un enfoque desde la gestión del conocimiento. *Educación y Tecnología Rural*, 6(2), 21–37.

World Bank. (2022). Digital Agriculture: Tools for the Future of Farming. <https://www.worldbank.org> Zabala-Vargas, S., Álvarez-Pizarro, Y., Sánchez-Galvis, I., & Rubio-Vásquez, K. (2024). Blockchain-Based Strategy to Optimize Certified Notifications from Government Entities. *Administrative Sciences*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/admsci14090195>

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., & Ramírez-Martínez, D. (2024). Project-based learning and emerging technologies. A strategy to improve academic performance in the training of project managers. 18th International Technology, Education and Development Conference, 5642-5646. <https://doi.org/10.21125/inted.2024.1469>

Zambrano, L. F., & Torres, K. J. (2022). Evaluación del uso de sensores IoT en cultivos de clima frío en Colombia. *Revista Tecnología y Desarrollo*, 10(2), 91–105

9 ANEXOS

Anexo A. Preguntas del instrumento aplicado (Encuesta)

A continuación, se relacionan las preguntas desarrolladas en el capítulo 4.1 del presente trabajo, como parte del instrumento aplicado para conocer el nivel de madurez tecnológica en organizaciones rurales:

- Clasificación según su actividad económica
- Número de empleados
- Nivel de ingresos anuales
- Ámbito de operación geográfica de la organización
- Formación del talento humano frente a la transformación digital
- Tecnologías utilizadas en la organización
- Interés en capacitación del talento humano en transformación digital
- Responsable de transformación digital en la organización
- Estrategia de transformación digital desde la alta dirección
- Plataformas y herramientas de comunicación
- Uso de software desde la nube
- Infraestructura tecnológica
- Internet de las Cosas (IoT)
- Uso de inteligencia artificial
- Uso de Big Data y análisis de datos
- Responsable de transformación digital
- Adopción de sistemas inteligentes
- Visión en tiempo real de la producción
- Conciencia y capacitación en seguridad digital
- Estrategia digital desde la alta dirección

Anexo B. Captura de pantalla del encabezado de la encuesta en Google Forms

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.

Anexo 1 Encabezado de la encuesta en Google Forms parte 1

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.

Cuando envíe este formulario, no recopilará automáticamente sus detalles, como el nombre y la dirección de correo electrónico, a menos que lo proporcione usted mismo.

* Obligatorio

Anexo 2 Encabezado de la encuesta en Google Forms parte 2

Anexo C. ficha de observación de campo

Nombre del observador: _____

Fecha: _____

Lugar: _____

Actividad observada: _____

Observaciones:

Firma del observador: _____

Anexo D. Entrevistas realizadas

Se aplicaron entrevistas semiestructuradas a actores clave del sector rural en Medellín.
A continuación, se presenta la estructura de las entrevistas aplicadas:

Preguntas guía:

¿Qué entiende usted por transformación digital en su entorno productivo?

¿Considera que su organización está preparada para implementar tecnologías digitales?

¿Qué barreras ha identificado para avanzar en procesos de digitalización?

¿Qué tipo de acompañamiento considera necesario para avanzar en la apropiación tecnológica?

¿Qué beneficios cree que puede generar el uso de tecnologías como Big Data, IoT o IA en el sector rural?

Las respuestas se encuentran sistematizadas en el cuerpo del documento (Capítulo 5).