



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

TESIS DE GRADO

Potencial de la agricultura digital para mejorar la sostenibilidad de la producción agrícola en pequeños productores del municipio Estelí, Nicaragua (2025)

Merlo, A; González, H; Rojas, J.

Tutor

Ph.D. Oscar Enrique Bustamante Morales

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL DE ESTELÍ

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Centro Universitario Regional de Estelí CUR-Estelí

Recinto Universitario “Leonel Rugama Rugama”
Departamento de Ciencias Tecnológicas y Salud

Potencial de la agricultura digital para mejorar la sostenibilidad de la producción agrícola en pequeños productores del municipio Estelí, Nicaragua (2025)

Trabajo de investigación para optar al grado de
Ingenieros agrónomos

Autores

Aryell Alitss Merlo Reyes
Hanssell José González Díaz
Jeyson Reynaldo Rojas Pichardo

Tutor

Ph.D. Oscar Enrique Bustamante Morales

Estelí, 5 de diciembre de 2025



Dedicatoria

Esta investigación se la dedicamos a nuestras familias quienes nos han apoyado para cumplir nuestros sueños en este camino. A nuestros padres y madres, hermanos y seres queridos cuyo apoyo han hecho posible este logro.

A nuestro tutor Oscar Enrique Bustamante quien nos guio con paciencia y un invaluable aporte académico y humano. Al maestro Luis Olivas quien nos ayudó en uno de nuestros momentos más difíciles.

A nuestra universidad por formarnos como profesionales y personas comprometidas con el desarrollo de nuestro país. A los pequeños productores del municipio de Estelí quienes nos brindaron la sabiduría y dieron sentido a esta investigación.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL, ESTELÍ
“2025: Eficiencia y Calidad para seguir en victorias”
Departamento de Ciencias de la Educación y Humanidades

CARTA AVAL DEL TUTOR

Estelí, 1 de diciembre de 2025

Por medio de la presente, en calidad de tutor(a) del trabajo de modalidad de graduación titulado: **Potencial de la agricultura digital para mejorar la sostenibilidad de la producción agrícola en pequeños productores del municipio Estelí, Nicaragua (2025)**, elaborado por el(la)/los(as) estudiante(s):

Hanssell José González Díaz,	21509905
Aryell Alitss Merlo Reyes,	21507991
Jeyson Reynaldo Rojas Pichardo,	21503206

Estudiante(s) de la carrera de **ingeniería agronómica**, hago constar que he brindado acompañamiento académico y metodológico durante el desarrollo de dicho trabajo, cumpliendo con lo establecido en el cronograma y en la normativa institucional vigente. Asimismo, avalo que el trabajo cumple con los requisitos formales, científicos y éticos exigidos por la Universidad, en cumplimiento de la modalidad de graduación correspondiente.

Atentamente,

Oscar Enrique Bustamante Morales

Orcid: 0000-0003-3745-5749

UNAN-Managua/CUR-Estelí

CC/

Resumen

Esta investigación analizó el potencial de la agricultura digital para la sostenibilidad productiva con pequeños productores de 10 comunidades seleccionadas de Estelí, Nicaragua 2025. El estudio de enfoque mixto aplicó encuestas a una muestra de productores locales. Los resultados mostraron un nivel muy limitado de conocimiento y adopción tecnológica. El 80 % desconocía el término agricultura digital y el 87 % no utilizaba herramientas digitales en sus labores. La principal barrera identificada fue el costo, 70 % seguida de la falta de capacitación un 25 %. La conectividad fue señalada como la dificultad principal solo por un 5 %. Sin embargo, se identificó como una alta disposición al cambio ya que el 95 % de los productores estaría dispuesto a probar estas tecnologías si se les facilitara. Se concluyó que, a pesar de la brecha digital existente, existe un potencial significativo para la integración de la agricultura digital en el municipio de Estelí. Su adopción exitosa requiere de estrategias que prioricen la capacitación accesible. Y mecanismos de financiamiento y proyecto piloto que demuestren sus beneficios, todo ello con un fuerte acompañamiento institucional para impulsar una transición hacia sistemas productivos más sostenibles.

Palabras clave: Agricultura digital, pequeños productores, sostenibilidad, Estelí, tecnologías.

Abstract

This research analyzed Potential of Digital Agriculture for Productive Sustainability among Small-Scale Farmers in 10 Selected Communities of Estelí, Nicaragua 2025. The mixed-methods study surveyed a sample of local producers. The results showed a very limited level of knowledge and adoption of technology. 80 % were unfamiliar with the term "digital agriculture," and 87 % did not use digital tools in their work. The main barrier identified was cost, (70 %), followed by a lack of training (25 %). Connectivity was cited as the main difficulty by only 5 %; however, a high willingness to change was identified, as 95 % of producers would be willing to try these technologies if access were facilitated. It was concluded that despite the existing digital divide, there is significant potential for the integration of digital agriculture in Estelí. Its successful implementation requires strategies that prioritize accessible training, financing mechanisms, and pilot projects that demonstrate its benefits, all with strong institutional support to promote a transition toward more sustainable production systems.

Keywords: Digital agriculture, small producers, sustainability, Estelí, technologies

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	3
2.1.	Internacionales	3
2.2.	Nacionales	4
3.	Planteamiento del problema	5
4.	Justificación.....	7
5.	Objetivos de investigación	9
5.1.	Objetivo General.....	9
5.2.	Objetivos específicos	9
6.	Preguntas de investigación / Hipótesis de investigación	10
7.	Limitaciones del estudio	11
8.	Contexto de la Investigación.....	12
9.	Marco Teórico	13
9.1.	Agricultura digital: concepto y alcances	13
9.2.	Pequeños productores y brecha digital.....	13
9.3.	Agricultura digital y sostenibilidad productiva.....	14
9.4.	Experiencias internacionales y lecciones aprendidas	15
9.5.	Estado en Nicaragua y pertinencia local.....	15
9.6.	Algunas herramientas utilizadas en la agricultura	16
9.6.1.	Sistema de riego	16
9.6.2.	Sensor de humedad del suelo	17
9.7.	Sistemas de geolocalización GPS	18
9.7.1.	¿Cómo funciona realmente?	18
9.7.2.	Generación de mapas	19
9.8.	Plataforma de comercialización digital	19
9.8.1.	AgroMarket	19
9.8.2.	Marketplace agrícola en América Latina.....	20
9.9.	Aplicaciones de monitoreo de cultivo.....	20

9.9.1.	AgriApp	20
9.9.2.	Plantix	20
9.10.	Situación actual de los pequeños productores en Nicaragua	21
9.10.1.	Superficie de las parcelas	21
9.10.2.	Cultivos predominantes	21
9.11.	Limitaciones tecnológicas y estructurales	22
9.11.1.	Estructural	22
9.11.2.	Conectividad.....	22
9.12.	Descripción de cada eje teórico según los objetivos.....	23
10.	Diseño metodológico	24
10.1.	Tipo de diseño mixto	24
10.2.	Tipo de investigación.....	24
10.3.	Población y muestra	25
10.4.	Variable y categoría (Operacionalización de variables)	26
10.5.	Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos	30
10.6.	Confiabilidad y validez de los instrumentos	30
10.7.	Técnicas, instrumentos y procedimientos para el procesamiento y análisis de la información.....	31
10.8.	Criterios de calidad	32
11.	Análisis y discusión de resultados	33
11.1.	Información general de las familias	33
11.2.	Caracterización educativa de los pequeños productores agrícolas	34
11.3.	Clasificación del nivel de conocimiento entre los productores	35
11.4.	Conocimiento previo del término “agricultura digital” entre los productores ..	37
11.5.	Nivel de adopción de tecnologías en labores agrícolas	39
11.6.	Uso de equipos digitales en las fincas de los encuestados	40
11.7.	Formación y capacitación de agricultores en el municipio de Estelí	41
11.8.	Barreras económicas y técnicas para la adopción digital.....	42
11.9.	Disposición de productores a usar tecnologías digitales	44

11.10. Estrategias para la integración de tecnologías digitales en pequeños productores del municipio de Estelí.....	46
11.10.1. Introducción	46
11.10.2. Estrategias Propuestas	47
11.10.3. Implementación gradual y sostenible	49
11.10.4. Indicadores de evaluación.....	50
11.10.5. Conclusión de las estrategias	50
12. Conclusiones	52
13. Recomendaciones	53
14. Referencias	54
15. Anexos	59

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de cada eje teórico según los objetivos	23
Tabla 2. Operacionalización de variables	26
Tabla 3. Descripción de los criterios	32
Tabla 4. Rangos de edad de los productores encuestados	33
Tabla 5. Capacitación en herramientas digitales	41

Índice de gráficos

Gráfico 1. Nivel académico	34
Gráfico 2. Nivel de conocimiento.....	36
Gráfico 3. Ha escuchado el termino agricultura digital.....	38
Gráfico 4. Uso de tecnologías digitales	39
Gráfico 5. Equipos digitales	40
Gráfico 6. Principal dificultad para el uso de tecnologías.....	43
Gráfico 7. Disposición a usar tecnologías digitales.....	45

1. Introducción

La agricultura constituye uno de los sectores más relevantes para la economía y la seguridad alimentaria en Nicaragua, particularmente en zonas rurales donde predomina la producción a pequeña escala. En el municipio de Estelí, gran parte de las familias dependen de la agricultura como principal medio de subsistencia, enfrentando limitaciones asociadas a la baja tecnificación, los costos de producción, la degradación de los recursos naturales y los efectos adversos del cambio climático.

Estas condiciones se agravan en el corredor seco, donde la variabilidad en las lluvias y la escasez de agua reducen la sostenibilidad de los sistemas productivos y la resiliencia de los productores (FAO, 2021).

En este contexto, la agricultura digital surge como una alternativa innovadora para transformar la forma en que los pequeños productores gestionan sus cultivos. Herramientas como sensores de humedad, estaciones meteorológicas portátiles, aplicaciones móviles para la toma de decisiones, sistemas de información de mercados, y tecnologías de teledetección han demostrado su efectividad en la optimización del uso de agua y fertilizantes, en la reducción de pérdidas postcosecha, y en la mejora de la competitividad de las familias rurales (World Bank, 2019).

No obstante, la adopción de estas tecnologías en Nicaragua se encuentra en una etapa incipiente, debido a la falta de acceso a infraestructura digital, brechas en alfabetización tecnológica y limitaciones económicas de los productores (Trivelli, 2020).

La percepción general acerca de la agricultura digital es que podría ofrecer soluciones para la producción de alimentos de manera más eficiente y sostenible. No obstante, es esencial reconocer que la implementación de esta tecnología involucra una serie de factores que nos llevan a considerar que, en algunos casos, los posibles beneficios pueden acompañarse de perjuicios significativos (León López y Victorino Ramírez, 2024).

A pesar de su potencial, aún no existen suficientes estudios en Nicaragua que documenten el grado de conocimiento, acceso y uso de estas tecnologías en pequeños productores, ni que analicen las barreras y oportunidades para su adopción. Por ello, resulta necesario generar evidencia científica que permita diseñar estrategias viables y

contextualizadas, orientadas a fortalecer la sostenibilidad de la producción agrícola en el municipio de Estelí.

En este marco, la presente investigación tiene como objetivo general analizar el potencial de la agricultura digital como herramienta para mejorar la sostenibilidad de la producción agrícola en pequeños productores del municipio de Estelí, Nicaragua.

2. Antecedentes

2.1. Internacionales

Gallear et al., (2025) valoraron distintos modelos de machine learning para generar pronósticos agrícolas de sequía a gran escala en, demostrando que la inteligencia artificial puede mejorar significativamente la presión en la predicción de eventos climáticos extremos. Los autores concluyen que esta herramienta permite anticipar riesgo y apoyar en la toma de decisiones agrícolas, Lo que podría fortalecer la residencia a productores vulnerable ante la variabilidad climática.

En un estudio de caso sobre los efectos de la digitalización Šermukšnytė-Alešiūnienė & Melnikienė (2024), analizaron una pequeña granja orgánica con el propósito de analizar los efectos de la digitalización en la productividad, la gestión económica y la relación con los clientes. La investigación se centró en productores agrícolas de sistemas orgánicos, tomando como muestra una granja que adoptó tecnologías digitales en sus procesos. Los resultados mostraron un impacto positivo en la reducción de costos laborales, una mejor planificación de inversiones y una relación más sólida con los clientes, lo cual fortaleció el desempeño económico, social y ambiental de la finca.

Gumbi et al. (2023), realizaron una revisión sistemática de estudios publicados entre 2017 y 2022 con el objetivo de identificar los beneficios, limitaciones y factores que influyen en la adopción de ecosistemas digitales en la agricultura. La población de estudio estuvo conformada por investigaciones científicas relacionadas con la agricultura digital, mientras que la muestra la constituyó un conjunto de trabajos que resaltaban las principales limitaciones de este proceso, como la insuficiente infraestructura tecnológica, los costos elevados, la baja alfabetización digital y la ausencia de modelos de negocio sostenibles.

2.2. Nacionales

Gómez y Pacheco (2021) presentan una investigación en el sur de Nicaragua con pequeños productores agropecuarios (promedio de 2.83 manzanas), encontrando que el 71% implementó algún tipo de innovación, muchas de las cuales han sido transferidas entre productores, lo que sugiere un importante potencial de adopción tecnológica.

Según Torres y Meza (2019), el estudio analiza el sistema nicaragüense de investigación e innovación agropecuaria y muestra que existe débil coordinación institucional, y poca inversión limitada capacidad para generar y transferir tecnología hacia los productores. Estas condiciones restringen la difusión de innovaciones, incluyendo herramientas digitales, lo que explica la baja adopción de tecnología entre pequeños productores del país.

Vivas Viachica et al. (2010) analizó el impacto de las escuelas de campo de agricultores (ECA) en comunidades campesinas de las zonas altas de Nicaragua, tomando como tema central la contribución de estas metodologías a la sostenibilidad agrícola. El estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de las ECA en los sistemas productivos locales a través de indicadores socioeconómicos, ambientales y de seguridad alimentaria y nutricional. Se evidenció que la implementación de esta estrategia fortaleció la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y mejoró el bienestar de los productores.

López (2004) mapeo el sistema nacional de innovación agrícola en Nicaragua, en el marco de una colaboración entre el CATIE y el CINET, tomando como tema central la caracterización y fortalecimiento de dicho sistema. El objetivo de este estudio fue identificar las capacidades de aprendizaje de los distintos actores del sector agrícola, así como las alianzas estratégicas que se generan entre ellos, con el fin de proponer lineamientos de política orientados a consolidar el sistema de innovación del país. A partir de los cuales se pudieron identificar fortalezas, debilidades y posibles oportunidades de mejora.

3. Planteamiento del problema

La producción agrícola en Nicaragua constituye un pilar fundamental para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico de las familias rurales. En el municipio de Estelí, gran parte de la población depende de sistemas de producción a pequeña escala, caracterizados por su baja tecnificación y limitada capacidad de adaptación a la variabilidad climática del corredor seco. Estos productores enfrentan múltiples limitaciones: escaso acceso a información actualizada sobre mercados y clima, uso ineficiente de recursos productivos como agua y fertilizantes, y dificultades en la adopción de innovaciones tecnológicas (FAO 2025).

Si bien en los últimos años la agricultura digital ha emergido como una alternativa viable para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos, su incorporación en pequeños productores de Nicaragua sigue siendo incipiente. Herramientas como aplicaciones móviles de pronóstico climático, sensores de humedad, plataformas de información de mercados y sistemas de monitoreo remoto ofrecen ventajas comprobadas en la eficiencia del uso de insumos, reducción de costos y mayor resiliencia frente al cambio climático (CEPAL 2019).

Sin embargo, la mayoría de los agricultores de pequeña escala desconocen estas tecnologías o carecen de las capacidades técnicas y recursos económicos necesarios para utilizarlas.

En este contexto, surge el problema central: ¿cuál es el potencial de la agricultura digital para mejorar la sostenibilidad económica, ambiental y social de la producción agrícola en pequeños productores del municipio de Estelí, Nicaragua?

Responder a esta interrogante implica identificar el nivel actual de conocimiento, acceso y uso de tecnologías digitales en el campo, evaluar las barreras que limitan su incorporación como la brecha digital, los costos de inversión y la falta de capacitación, y analizar las oportunidades que podrían favorecer su adopción. La ausencia de estudios específicos en el territorio de Estelí sobre este tema genera una laguna de información que dificulta el diseño de estrategias efectivas de innovación y acompañamiento técnico, tanto por parte de instituciones públicas como de universidades.

Por tanto, es necesario realizar un estudio que analice el potencial de la agricultura digital en la sostenibilidad de los sistemas productivos de pequeños agricultores, de manera que se contribuya al desarrollo de propuestas pertinentes y contextualizadas que fortalezcan la resiliencia del sector agrícola en Nicaragua.

4. Justificación

La agricultura digital representa una oportunidad estratégica para enfrentar los desafíos productivos, sociales y ambientales de los pequeños productores agrícolas en Nicaragua. En el municipio de Estelí, la producción agrícola se caracteriza por la predominancia de sistemas de pequeña escala que, a pesar de su importancia para la seguridad alimentaria y la economía local, enfrentan limitaciones en el acceso a insumos, financiamiento, mercados y tecnologías modernas. Estas restricciones, sumadas a la variabilidad climática del corredor seco, generan bajos niveles de sostenibilidad en la producción (World Bank, 2019).

El uso de herramientas de agricultura digital como aplicaciones móviles, plataformas de información climática, sistemas de monitoreo de suelos, sensores de humedad y drones permite mejorar la eficiencia en el uso de recursos, optimizar las labores agrícolas y fortalecer la toma de decisiones de los productores. Estudios recientes señalan que la digitalización agrícola contribuye no solo a incrementar la productividad, sino también a reducir los costos de producción y la huella ambiental, mejorando la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (World Bank, 2019).

En Nicaragua, la pertinencia de este estudio radica en su alineación con políticas nacionales. El Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022-2026 reconoce la necesidad de integrar tecnologías innovadoras en el agro como vía para incrementar la competitividad y resiliencia del sector (CEPAL, 2022). Asimismo, el Marco Estratégico de la Educación Superior 2022-2030 impulsa la investigación aplicada en áreas como innovación tecnológica y sostenibilidad productiva, aspectos directamente vinculados con este protocolo.

Desde la perspectiva social, el análisis del potencial de la agricultura digital permitirá identificar el nivel de conocimiento, acceso y uso actual de estas herramientas entre pequeños productores de Estelí, así como los principales desafíos y oportunidades de su incorporación. Esto es fundamental para evitar la ampliación de la brecha digital rural y, por el contrario, promover estrategias inclusivas que fortalezcan el bienestar económico, social y ambiental de las familias productoras (CEPAL, 2019).

En este sentido, la investigación propuesta es pertinente y necesaria para Nicaragua, dado que aportará evidencias sobre cómo las tecnologías digitales pueden contribuir a una agricultura más eficiente, sostenible y resiliente en el contexto de pequeños productores, fortaleciendo así los esfuerzos nacionales de innovación y desarrollo territorial.

5. Objetivos de investigación

5.1. Objetivo General

Analizar el potencial de la agricultura digital para la sostenibilidad productiva con pequeños productores de 10 comunidades de Estelí, Nicaragua 2025.

5.2. Objetivos específicos

Identificar el nivel de conocimiento, acceso y uso actual de tecnologías digitales en la producción agrícola por parte de pequeños productores en Estelí.

Evaluar los principales desafíos y oportunidades que enfrentan los pequeños productores para incorporar herramientas de agricultura digital en sus sistemas productivos.

Proponer estrategias viables para integrar tecnologías digitales que contribuyan a la sostenibilidad económica, ambiental y social de la producción agrícola.

6. Preguntas de investigación / Hipótesis de investigación

Suponemos que, si los pequeños productores de las 10 comunidades de Estelí tuvieran mayor acceso a capacitaciones en tecnología de Agricultura digital, entonces podría mejorar la eficiencia de su cultivo y hacer más sostenible su producción. Creemos que el uso de esta herramienta ayudaría a reducir el costo optimizar recursos y tomar mejores decisiones en su finca.

¿Cuál es el nivel de conocimiento, acceso y uso actual de tecnologías digitales en la producción agrícola por parte de pequeños productores en Estelí?

¿Cuáles son los principales desafíos y oportunidades que enfrentan los pequeños productores para incorporar herramientas de agricultura digital en sus sistemas productivos?

¿Que estrategias son más viables para integrar tecnologías digitales que contribuyan a la sostenibilidad económica, ambiental y social de la producción agrícola?

7. Limitaciones del estudio

En este estudio se reconoce algunas limitaciones relacionadas con el diseño y la forma en que realizamos la investigación. La muestra fue limitada a un grupo específico de pequeños productores de 10 comunidades, por lo que los resultados no se pueden generalizar a todas las comunidades del municipio o del país. Además, el acceso a algunos productores fue complicado por el tiempo disponible y la distancia a ciertas zonas.

También se considera que parte de la información depende de la percepción de los encuestados, lo cual puede generar ciertos sesgos. A esto se sumó que algunos productores tenían poco conocimiento sobre agricultura digital, lo que pudo afectar la claridad de sus respuestas.

Una limitación que se tuvo fue la definición correcta del muestreo y hubo escasez de estudios sobre este tema a nivel nacional lo que influyó en la discusión de los resultados.

8. Contexto de la Investigación

El contexto de esta investigación se centra en la realidad agrícola del municipio de Estelí, donde la mayoría de pequeños productores trabaja con baja tecnificación, recursos limitados y condiciones climáticas variables. Estos factores influyen directamente en la forma en que se produce y en la capacidad de los agricultores para adaptarse a las nuevas herramientas, especialmente a las tecnologías digitales.

El estudio se desarrolló en un entorno donde intervinieron elementos sociales, económico y culturales que condicionaron el acceso a la información y la adopción de innovaciones. Además, aspectos como la conectividad, el nivel educativo y la disponibilidad de acompañamiento técnico tuvieron un papel importante en la interpretación de los resultados.

Los pequeños productores de la zona enfrentan limitaciones estructurales que condicionan su capacidad de innovación y adaptación.

- Baja Tecnificación: Predominio de método tradicional de cultivo riego y control de plagas.
- Fragilidad ante el cambio climático: Pérdida recurrente de cosecha debido a la sequía, lluvias irregulares y plagas.
- Mercado desfavorable: Dependencia de intermediario bajo precio en la comercialización y poca capacidad de negociación.

La población rural de Estelí depende de una medida de la agricultura con principal medio de subsistencia y generación de ingresos. O indicadores socio económicos disponibles a nivel nacional sugieren que en las zonas rurales perciben desafío relacionado con el acceso a servicios básicos financiamiento para la producción y canales de comercialización.

9. Marco Teórico

9.1. Agricultura digital: concepto y alcances

En el mundo contemporáneo y globalizado, los avances en las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) tendrán cada vez más un carácter estratégico y político. Las TIC han contribuido, durante varias décadas, de manera impactante, a las diversas áreas del conocimiento, permitiendo el almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos, la automatización de procesos y el intercambio de información y conocimiento (Massruhá y Leite, 2016).

Es importante diferenciar entre agricultura tradicional, agricultura de precisión y agricultura digital. La agricultura tradicional se basa en prácticas empíricas, con limitada incorporación de tecnologías avanzadas; la agricultura de precisión introduce herramientas para medir y controlar variables en el campo (por ejemplo, fertilización localizada), mientras que la agricultura digital amplía este enfoque mediante la integración de plataformas de datos, sistemas de comunicación en tiempo real y soluciones basadas en IA y big data.

9.2. Pequeños productores y brecha digital

Diferentes fuentes definen al pequeño productor agropecuario (PPA) como aquel grupo familiar que aporta trabajo físico, no contrata mano de obra permanente, tiene limitaciones de tierra (que no siempre es propia), capital y tecnología. Su producción es para autoconsumo y el excedente va a un mercado generalmente local. Los PPA son “pluriactivos”, cuando alguien de la familia trabaja en otra ocupación extra predial, relacionada o no con lo agropecuario (Vieites, 2017).

Especialmente en el sector agrícola, se han introducido diversas tecnologías que prometen impactar significativamente en los modelos de producción. Esto se debe a las nuevas tendencias en la recopilación, almacenamiento, gestión, transferencia y análisis de grandes volúmenes de datos. Por ejemplo, los avances en la teledetección por satélite generan datos con parámetros biofísicos relacionados con el desarrollo de los cultivos, permitiendo calcular de manera más precisa sus necesidades hídricas y de riego, lo que mejora su productividad (Valdez, 2023).

De acuerdo con Carrillo Riofrío et al. (2021), numerosos son los desafíos que en la época actual debe enfrentar este sector económico, en virtud de la apremiante transformación que requiere el sector rural para alcanzar la tan anhelada calidad de vida de la población, además del hecho de lograr un desarrollo sostenible que le permita ganar una posición ventajosa como abastecedor de alimentos y materias primas, contribuir a la generación de empleos de calidad, generar bienestar, riqueza y al mismo tiempo realizar buenas prácticas de gestión para el cuidado y la protección del medio ambiente, cónsonas con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

9.3. Agricultura digital y sostenibilidad productiva

Uno de los mayores aportes de la agricultura digital es su impacto en la sostenibilidad de la producción agrícola. La sostenibilidad se entiende en tres dimensiones: económica, social y ambiental.

Económica: Dada la presión por sostener un sistema alimentario acorde a la realidad moderna del ser humano limitada por cambios socioeconómicos, cambios demográficos, expansión de los cordones urbanos, entre otros, la actividad agropecuaria se ha visto empujada a expandir su frontera productiva, incorporando tecnologías digitales dentro de sus procesos de producción (Celis, 2019).

Social: Las tecnologías digitales mejoran la toma de decisiones de los agricultores, fortalecen las capacidades locales y facilitan la inclusión en cadenas de valor más competitivas. Asimismo, permiten un acceso más equitativo a información climática y de mercados, favoreciendo la organización comunitaria (Trendov et al., 2019).

Ambiental: Según Salvatierra (2025), la agricultura de precisión optimiza la aplicación de tecnologías en la producción agrícola, sin embargo, su adopción enfrenta limitaciones de altos costos o acceso limitado a financiamiento, por tal motivo, para mitigar el impacto ambiental, es fundamental la implementación de estrategias innovadoras que mejoren la eficiencia en la gestión de recursos, fortalezcan la resiliencia de los cultivos y fomenten un manejo más sostenible de los ecosistemas agrícolas.

9.4. Experiencias internacionales y lecciones aprendidas

Diversas experiencias internacionales evidencian el potencial de la digitalización agrícola. En Asia y África, por ejemplo, la implementación de aplicaciones móviles y plataformas digitales de información ha permitido a agricultores acceder a pronósticos climáticos, mejorar el manejo de plagas y enfermedades, y optimizar la planificación de cultivos (FAO, 2022).

Un estudio de Nieuwkoop y Nieuwkoop (2025) reporta cómo agricultores rurales en la India han mejorado su resiliencia climática gracias a herramientas de inteligencia artificial aplicadas a pronósticos climáticos, reduciendo deudas y aumentando ahorros.

El acceso desigual a la información y la capacitación técnica también contribuye a la brecha digital entre grandes y pequeños productores. Mientras que las grandes empresas pueden permitirse contratar especialistas en tecnología y datos, los pequeños productores pueden carecer de los conocimientos y habilidades necesarios para implementar y utilizar eficazmente soluciones digitales complejas. Esto perpetúa una disparidad en la capacidad de aprovechar plenamente el potencial transformador de la digitalización en la agricultura (Cabezas et al., 2024).

9.5. Estado en Nicaragua y pertinencia local

En Nicaragua de acuerdo con Nagel (2012) como contrapeso a ese conjunto de factores que impulsan la expansión de las TIC, es posible notar que persisten importantes brechas en el acceso y uso de esas tecnologías en los sectores rurales y entre los agricultores. Los siguientes gráficos, en su mayoría sobre la base de las encuestas de hogares, muestran las principales tendencias en cuanto al acceso y uso de las TIC en los hogares rurales y agrícolas. Aquí se entiende por hogares agrícolas a aquellos en que el jefe de hogar tiene como ocupación principal la agricultura.

La extensión rural ha evolucionado desde enfoque lineal tradicional, hacia un modelo sistémico que involucra la participación de actores públicos y privados, configurando sistemas de innovación. En esta interacción sistémica se conforman estructuras de redes de

información donde los productores establecen vínculos con diversos actores tanto locales como externos al territorio (Ramírez-Gómez y Cuevas Reyes, 2023).

Este hallazgo sugiere que, si se diseñan estrategias adecuadas de acompañamiento, los agricultores nicaragüenses podrían adoptar herramientas digitales progresivamente.

En el municipio de Estelí no se han documentado estudios específicos sobre agricultura digital en pequeños productores, lo que evidencia una laguna bibliográfica local. La ausencia de datos genera la necesidad de investigaciones que permitan identificar el nivel de conocimiento, acceso y uso de tecnologías digitales, así como los principales desafíos y oportunidades para su integración en los sistemas productivos de la zona. Este vacío de información constituye la base de la pertinencia de la investigación planteada.

9.6. Algunas herramientas utilizadas en la agricultura

9.6.1. Sistema de riego

Según A.r et al. (2024) el agua es esencial para la producción agrícola y la seguridad alimentaria, por lo que el uso eficiente del agua es fundamental. La medición precisa de la humedad del suelo es vital para programar el riego, asegurando que los cultivos reciban la cantidad correcta de agua en el momento adecuado.

Esto evita el riego insuficiente y excesivo, conservando el agua y maximizando la producción de cultivos. Actualmente, los sensores digitales de humedad del suelo se utilizan por su precisión y capacidades de medición instantánea. La funcionalidad del sensor de humedad del suelo se evaluó a través de observaciones de cuatro sensores capacitivos de humedad del suelo 1.2 (SMS A, B, C, D) a varios niveles de humedad, con verificación del método gravimétrico. Las ecuaciones lineales calibradas demostraron una fuerte relación lineal para cada sensor.

El coeficiente de determinación (R^2) también se encontró que eran 0,92, 0,93, 0,91 y 0,93 respectivamente. Estos valores de R^2 indican una fuerte relación lineal para cada sensor. Se desarrolló un módulo de riego por goteo automatizado mediante la integración de estos sensores de humedad del suelo con la plataforma Arduino. El sistema activa el motor de riego cuando el contenido de humedad del suelo cae por debajo de la capacidad del campo o de un

valor establecido deseado, y lo apaga una vez que se alcanza el nivel de humedad requerido. Este módulo de riego por goteo automatizado basado en sensores permite a los agricultores regar sus campos de manera precisa y eficiente, entregando la cantidad correcta de agua en el momento adecuado.

9.6.2. Sensor de humedad del suelo

Los sensores de humedad del suelo desempeñan un papel fundamental en la optimización del riego y la prevención del desperdicio de agua en la agricultura. Los sensores de bajo costo presentan una ventaja económica significativa en comparación con los sensores comerciales de marcas reconocidas, al tiempo que brindan mediciones precisas (Giron Erazo, 2023).

Los sensores de humedad del suelo, también conocidos como sensores de humedad del suelo, funcionan con sensores de temperatura, luz, ácido y sal, y luego se conectan a una computadora para permitir el análisis y la investigación del crecimiento de los cultivos, controlando así que los cultivos crezcan siempre en las condiciones ambientales adecuadas.

Ventajas del sensor de temperatura y humedad del suelo NBL-S-THR:

El sensor de temperatura y humedad del suelo NBL-S-THR, como instrumento avanzado de medición de la humedad del suelo, tiene características y ventajas notables, que se muestran en los siguientes aspectos:

1. Alta precisión y sensibilidad: utilizando tecnología avanzada de pulso de onda electromagnética, puede detectar con precisión los cambios de humedad en el suelo, garantizar la precisión y sensibilidad de los resultados de la medición y brindar un soporte de datos confiable para la producción agrícola.

2. Rápido y estable: el sensor responde rápidamente, puede completar la medición de la humedad del suelo en poco tiempo y los resultados de la medición son estables y confiables, lo que reduce el impacto del retraso de tiempo o las fluctuaciones en las decisiones de producción agrícola.

En resumen, el sensor de temperatura y humedad del suelo NBL-S-THR se ha convertido en una herramienta indispensable e importante en la producción agrícola moderna con sus características y ventajas como alta precisión, alta sensibilidad, rápido y estable, fuerte capacidad anti interferencia y amplia aplicabilidad.

9.7. Sistemas de geolocalización GPS

Como señala Gao y Li (2022) los receptores GNSS, junto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permiten la determinación exacta de los límites del campo y el mapeo preciso de características del campo, como carreteras, sistemas de riego y redes de drenaje. Estos datos proporcionan la base para otras actividades agrícolas de precisión, como VRT, monitoreo de rendimiento y exploración de cultivos. Una comprensión profunda de las características del campo y la variabilidad espacial permite la optimización de la utilización de insumos, la personalización de las estrategias de gestión y la minimización de desperdicios, lo que resulta en una mayor eficiencia de recursos y ahorros de costos.

La guía precisa y las capacidades de dirección automatizada de los sistemas basados en GNSS contribuyen a una colocación más consistente de semillas, aplicación de fertilizantes y otras operaciones de campo, lo que resulta en una mejor uniformidad del cultivo, un uso optimizado de los insumos y un aumento de los rendimientos.

9.7.1. ¿Cómo funciona realmente?

Para que el GPS en agricultura sea capaz de llevar datos precisos sobre las condiciones del suelo para ejecutar procesos de control digital sobre los cultivos, es necesario estar apoyado por diversas funcionalidades especiales.

Recolección de datos

Los receptores capturan señales satelitales para determinar la posición exacta de un punto en el campo. Estos datos se combinan con sistemas de información geográfica (GIS) y otros sensores para analizar el estado de los cultivos y suelos.

9.7.2. Generación de mapas

Con esta información, se crean mapas detallados que ayudan a los agricultores a visualizar las áreas que necesitan tratamientos específicos o ajustes en su manejo.

9.8. Plataforma de comercialización digital

9.8.1. AgroMarket

Tal como lo explica CONtexto Ganadero (s/f) la tecnología sigue cambiando y los productores tienen en esa aplicación una alternativa para comercializar sin los incómodos intermediarios. Agro Market nace en el 2014 como una App Georreferenciador de agricultores, productos procesados y agro insumos disponibles en las tiendas Play Store y Appstore, en la que los usuarios pueden encontrar productos y contactar productores sin intermediarios, teniendo como objetivo la adquisición y venta de productos e insumos agropecuarios. (Lea: Agromun, plataforma para el análisis de datos del agro) Con filtros detallados se puede encontrar información de interés, acerca de agricultores, tal como:

- Filtrar o buscar por tipo de producción; frutas, verduras, ganadería, piscicultura, ovinos, caprinos y muchos más productos.
- Ubicar producción por sector específico.
- Encontrar quién produce alimentos orgánicos y certificados.
- Visualizar la dirección, ubicación del agricultor y datos de contacto.
- Agricultores con sucursales y diferentes productos.
- Descripción detallada del producto y si cuenta con certificados o experiencia para exportar.
- Capacidad de producción del agricultor.
- Calendario de producción de cada agricultor con fechas en las que sale cosecha.
- Galería de Imágenes, de productos.
- Ubicación de distribuidores de maquinaria, tecnología e insumos para agricultura.

- Asistencia técnica en línea de agrónomos y veterinarios que pueden brindar asistencia inmediata ante alguna eventualidad en los cultivos.
- Agricultores y productos cerca a la ubicación, sin intermediarios.

9.8.2. Marketplace agrícola en América Latina

Los Marketplace han demostrado ser esenciales, generando más del 30% del volumen de ventas en Francia y representando más del 50% del comercio minorista en línea en Alemania. En España, casi el 50% de los consumidores digitales realizan compras mensuales a través de estos Marketplace, superando a los sitios web de marcas individuales (Ortiz, 2024).

9.9. Aplicaciones de monitoreo de cultivo

9.9.1. AgriApp

AGRIAPP es una plataforma integral que ofrece servicios de asesoría agrícola, soluciones y respuestas a problemas de cultivos y ofrece una amplia gama de productos relacionados con la agricultura en Nicaragua.

El objetivo es apoyar a los agricultores y agricultoras del país, brindándoles conocimientos, herramientas eficientes y productos de calidad para mejorar sus cosechas y maximizar su productividad (Praneeth et al., 2023).

9.9.2. Plantix

Plantix ofrece un enfoque revolucionario impulsado por IA para diagnosticar problemas de salud de los cultivos, brindando a los agricultores soluciones instantáneas y asesoramiento de expertos. Esta aplicación está diseñada para mejorar la productividad agrícola a través de conocimientos inteligentes basados en datos (“Plantix”, 2024).

Principales características y ventajas

Diagnóstico instantáneo de enfermedades y sugerencias de tratamiento Utilizar Plantix es como tener un experto en sanidad vegetal en el bolsillo. Con solo tomar una fotografía del cultivo afectado, los usuarios reciben diagnósticos y recomendaciones de

tratamiento inmediatos y precisos. Este enfoque innovador no sólo ahorra tiempo, sino que también reduce significativamente el riesgo de pérdida de cultivos.

Acceso a una comunidad agrícola global La comunidad en línea de Plantix conecta a los agricultores con expertos agrícolas, científicos y compañeros agricultores, facilitando el intercambio de conocimientos y experiencias. Este entorno colaborativo brinda a los usuarios información valiosa sobre el cultivo de cultivos, el manejo de enfermedades y las prácticas agrícolas sostenibles.

9.10. Situación actual de los pequeños productores en Nicaragua

9.10.1. Superficie de las parcelas

A nivel nacional, la estructura de tenencia de tierra en Nicaragua se caracteriza por la predominancia de pequeñas unidades productivas. Según datos del Instituto Nacional de Información de Desarrollo INIDE (2022), del total de productores individuales registrados en el País, Aproximadamente el 37 % trabaja en parcelas de hasta 5 manzanas, Lo que evidencia la relevancia de la agricultura en pequeña escala dentro del sector agrícola nicaragüense.

Asimismo, el mismo reporte destaca la brecha de género en el acceso a la tierra: mientras que los hombres representan cerca del 84 % del total de productores, su participación se incrementa en unidades mayores a 20 manzanas (alrededor del 88 %).

Estos datos contextualizan la actualidad agraria nacional y sirven como referente para comprender la estructura productiva del municipio de Estelí.

9.10.2. Cultivos predominantes

De acuerdo con estadísticas de INIDE (2022), el departamento de Estelí ocupa una posición destacada dentro de la actividad agrícola del país. Su contribucion no es menor, ya que varios de sus cultivos abarcan proporciones importantes de la superficie sembrada a nivel nacional. Entre ellos sobresalen la papa, el tabaco, los cultivos permantes mixtos, el repollo y el tomate, que aportan alrededor respectivamente.

9.11. Limitaciones tecnológicas y estructurales

9.11.1. Estructural

- Infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones insuficiente en zonas rurales.
- Costos elevados de servicios digitales en relación con los ingresos de los productores.
- Mercado concentrado en telecomunicaciones con baja competencia.
- Marco regulatorio con posibles restricciones al acceso digital.

9.11.2. Conectividad

- Baja cobertura de Internet móvil.
- Corte frecuente en la energía eléctrica.
- Brechas significativas entre zonas urbanas y rurales en acceso a Internet.
- Baja velocidad de conexión durante horas pico.
- Proyecto de infraestructura digital con cobertura parcial en desarrollo.

9.12. Descripción de cada eje teórico según los objetivos

Tabla 1

Descripción de cada eje teórico según los objetivos

Objetivo específico	Descripción
Identificar el nivel de conocimiento acceso y uso actual de tecnologías digitales en la producción agrícola por parte de pequeños productores en Estelí.	Analiza la situación actual de los pequeños productores en el municipio de Estelí respecto a la agricultura digital. Tomando en cuenta qué tanto conocen sobre herramientas como sensores, aplicaciones móviles, drones o riego automatizado; las posibilidades reales que tienen para acceder a ellas (internet, costos, capacitación) y el grado en que las aplican en sus actividades productivas.
Evaluar los principales desafíos y oportunidades que enfrentan los pequeños productores para incorporar herramientas de Agricultura digital en sus sistemas productivos.	Examinar las barreras que limitan el uso de tecnologías digitales, como el costo, la falta de capacitación, la conectividad o la resistencia al cambio. También identifica oportunidades como el apoyo institucional, experiencias previas exitosas y el potencial de mejorar productividad y sostenibilidad en las fincas.
Proponer estrategia viable para integrar tecnologías digitales que contribuyan a la sostenibilidad económica ambiental y social de producción agrícola.	Propone una ruta práctica para introducir tecnologías digitales adaptadas a la realidad de los pequeños productores. Busca equilibrio entre rentabilidad económica, cuidado ambiental y bienestar social, considerando capacitación, asistencia técnica y redes de colaboración que faciliten la transición hacia una agricultura más innovadora y competitiva.

Nota. Elaboración propia

10. Diseño metodológico

10.1. Tipo de diseño mixto

La investigación fue de carácter descriptivo con enfoque mixto (cualitativo–cuantitativo). El componente cuantitativo permitió medir el nivel de conocimiento, acceso y uso de tecnologías digitales entre pequeños productores de Estelí, mientras que el componente cualitativo sirvió para identificar percepciones, desafíos y oportunidades respecto a la incorporación de dichas tecnologías en la agricultura.

10.2. Tipo de investigación

Definición del tipo de investigación:

Líneas de investigación

- Ciencias agropecuarias

CAG-1.1 Sistemas de producción agrícola

CAG-1.2 Sistema de producción pecuarios

CAG-1.3 Sistemas de producción forestal

- Según el nivel de profundidad la investigación es de tipo descriptiva y correlacional, ya que se orienta a describir la situación actual del uso de tecnologías de la información y comunicación por parte de los pequeños productores del municipio de Estelí, así como analizar la relación existente entre la opción de la agricultura digital y la mejora de los sistemas de producción agrícola. Este enfoque permitió identificar características, prácticas y percepciones de los productores en relación con el uso de tecnologías digitales en el sector agropecuario.
- De acuerdo con Ropa-Carrión et al. (2025) el área de estudio la investigación se ubica dentro del ámbito científico social, debido a que se analiza el

comportamiento percepciones y práctica de los productores frente al uso de tecnologías digitales en la agricultura.

- Asimismo, se considera una investigación de carácter aplicada, ya que sus resultados buscan aportar información útil para la mejora de los procesos productivos y la toma de decisiones en el sector agrícola, específicamente en pequeños productores del municipio de Estelí.
- Según datos de Lancharos Florián (2012) la investigación es de tipo no experimental, dado que no se realiza manipulación directa de las variables de estudio. La información se recopiló tal como ocurre con la realidad, observando y analizando el uso de tecnologías digitales en sistemas productivos agrícolas sin intervenir ni modificar las prácticas habituales de los productores.
- Según el alcance temporal, la investigación es de tipo transversal, ya que la recolección de datos se realizó en un período determinado de tiempo permitiendo analizar la situación del uso de la agricultura digital en los pequeños productores del municipio de Estelí durante el año 2025.
- De acuerdo con el enfoque filosófico la investigación se sustenta en el paradigma explicativo, debido a que busca comprender y aplicar comportamiento de los productores respecto al uso de tecnologías digitales, así como los factores que influyen en su adopción dentro de los sistemas de producción agrícola.

10.3. Población y muestra

La Población del estudio estuvo constituida por los pequeños productores agrícolas de 10 comunidades de Estelí, definido como productores con parcelas entre 0 y 5 manzanas dedicadas a granos básicos, hortaliza u otros cultivos comerciales de pequeña escala. Debido a que el municipio cuenta con más de 200 comunidades rurales, se delimitó la población a aquellos productores pertenecientes a 10 comunidades donde existen asociaciones activas, cooperativas agrícolas y programas de extensión universitaria lo que permitió garantizar la accesibilidad y la disponibilidad de información.

Para la selección de la muestra por ser un estudio mixto se utilizó un muestreo no probabilístico correspondiente al enfoque cualitativo; Utilizándose un muestreo por conveniencia por el grado de accesibilidad tomándose cuatro productores por comunidad.

También se aplicó un grupo focal un representante de ocho comunidades donde se discutieron barreras y oportunidades de la agricultura digita.

10.4. Variable y categoría (Operacionalización de variables)

Tabla 2

Operacionalización de las variables

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Instrumento
Identificar el nivel de conocimiento, acceso y uso actual de tecnologías digitales en la producción agrícola por parte de pequeños productores en Estelí.	Nivel de conocimiento sobre agricultura digital	Conjunto de saberes que posee el productor respecto a las herramientas digitales aplicadas a la producción agrícola.	Se refiere al grado de familiaridad que manifiestan los productores sobre conceptos, funciones y beneficios de la agricultura digital.	- Porcentaje de productores que conocen qué es agricultura digital. - Porcentaje que identifica herramientas digitales.	Encuesta estructurada. Entrevista semiestructurada.
	Acceso a tecnologías digitales	Posibilidad real que tienen los productores para disponer de infraestructura	Se mide a través de los medios tecnológicos disponibles en la finca (teléfono inteligente, internet, sensores, aplicaciones móviles, etc.).	- % de productores con acceso a dispositivos digitales. - % de	Encuesta estructurada. Guía de observación.

<p>Uso actual de tecnologías digitales</p>	<p>tecnológica, conectividad y equipos digitales.</p> <p>Aplicación práctica de herramientas digitales en los procesos de producción agrícola.</p>	<p>Se refiere a la frecuencia y propósito con que los productores utilizan herramientas digitales en actividades agrícolas.</p>	<p>productores con conectividad estable.</p> <p>- % de productores que utilizan tecnologías digitales en siembra, manejo o comercialización.</p> <p>- Frecuencia de uso (diario, semanal, mensual).</p>	<p>Encuesta estructurada.</p> <p>Registro de campo.</p>
<p>Evaluar los principales desafíos y oportunidades que enfrentan los pequeños</p>	<p>Desafíos de adopción tecnológica</p> <p>Factores que dificultan la incorporación de tecnologías digitales en la agricultura (Gumbi et al., 2023).</p>	<p>Se identifican mediante las percepciones de los productores sobre limitantes técnicas, económicas, sociales y ambientales.</p>	<p>- Principales barreras mencionadas (costo, conectividad,</p>	<p>Entrevista semiestructurada.</p> <p>Taller participativo.</p>

<p>productores para incorporar herramientas de agricultura digital en sus sistemas productivos.</p>	<p>Oportunidades de la agricultura digital</p>	<p>Posibilidades de mejorar productividad, sostenibilidad y acceso a mercados a través de la digitalización (Nieuwkoop & Nieuwkoop, 2025).</p>	<p>Se mide en términos de beneficios percibidos y potencial de implementación futura.</p>	<p>capacitación). - % de productores que señalan cada desafío.</p>	<p>- % de productores que consideran viable la digitalización. - Principales beneficios esperados (económicos, sociales, ambientales).</p>
<p>Proponer estrategias viables para integrar tecnologías digitales que contribuyan a la</p>	<p>Estrategias de integración tecnológica</p>	<p>Acciones prácticas propuestas para facilitar la adopción y el uso de tecnologías digitales en pequeños productores</p>	<p>Estrategias construidas a partir del análisis de resultados, validadas con actores locales y orientadas a sostenibilidad.</p>	<p>- Número de estrategias con propuestas. - Grado de pertinencia de las estrategias según</p>	<p>Encuesta. Taller participativo. Grupo focal con productores. Taller de validación.</p>

sostenibilidad económica, ambiental y social de la producción agrícola.	Sostenibilidad agrícola.	Capacidad de los sistemas productivos para mantenerse en el tiempo, garantizando viabilidad económica, equidad social y equilibrio ambiental.	Se valoran las contribuciones potenciales de la digitalización en las tres dimensiones de la sostenibilidad.	validación de actores.	-	Encuesta. Entrevista. Matriz de análisis.
				Indicadores de sostenibilidad económica (reducción de costos).	-	
				Indicadores sociales (participación, inclusión).	-	
				Indicadores ambientales (eficiencia en agua e insumos).		

Nota. Elaboración propia.

10.5. Técnicas, instrumentos y procedimiento de recolección de datos

Encuesta estructurada: dirigida a los productores para recopilar información cuantitativa sobre conocimiento, acceso y uso de tecnologías digitales, así como percepciones sobre oportunidades y desafíos.

Entrevista semiestructurada: aplicada a líderes de cooperativas, técnicos y actores institucionales para profundizar en las limitantes y posibilidades de la agricultura digital en la zona.

Taller participativo y grupos focales: orientados a validar los hallazgos y construir estrategias colectivas de integración tecnológica.

Guía de observación: para registrar la disponibilidad de dispositivos y condiciones en campo relacionadas con la conectividad digital.

10.6. Confiabilidad y validez de los instrumentos

La guía de encuesta y guía de grupo focal fue validada por dos docentes quienes verificaron que las preguntas le daban salida a los objetivos específicas de tal manera que recogieran la información clara y precisa de lo que se pedía.

La confiabilidad y validez son dos conceptos cruciales en la investigación, especialmente al evaluar la calidad de los instrumentos de medición. La confiabilidad se refiere a la consistencia y estabilidad de los resultados obtenidos al aplicar repetidamente un instrumento, mientras que la validez se refiere a cuán bien un instrumento mide lo que pretende medir. En otras palabras, un instrumento confiable produce resultados consistentes, y un instrumento válido mide con precisión lo que se supone que debe medir. En este sentido, un instrumento confiable genera resultado consistente, mientras que un instrumento válido mide con precisión la variable establecida en el estudio.

10.7. Técnicas, instrumentos y procedimientos para el procesamiento y análisis de la información

Encuesta estructurada: dirigida a los productores para recopilar información cuantitativa sobre conocimiento, acceso y uso de tecnologías digitales, así como percepciones sobre oportunidades y desafíos.

Entrevista semiestructurada: aplicada a líderes de cooperativas, técnicos y actores institucionales para profundizar en las limitantes y posibilidades de la agricultura digital en la zona.

Taller participativo y grupos focales: orientados a validar los hallazgos y construir estrategias colectivas de integración tecnológica.

Y para el análisis de información se tomó en cuenta.

Componente cuantitativo: los datos de la encuesta se analizaron con estadística descriptiva (frecuencias, porcentajes, tablas y gráficos).

Componente cualitativo: la información de entrevistas y talleres se procesaron mediante análisis de contenido, identificando categorías temáticas (desafíos, oportunidades, estrategias).

Los resultados de ambos enfoques se integraron en un análisis mixto que permitió triangular la información para una mejor comprensión del potencial de la agricultura digital en la sostenibilidad productiva.

10.8. Criterios de calidad

Tabla 3

Descripción de los criterios

Criterio	Descripción
Credibilidad	Se garantiza mediante la triangulación de datos, técnicas e informantes (Hernández y Mendoza, 2018).
Transferibilidad	Se busca que los hallazgos sean útiles para contextos educativos similares.
Dependencia (Fiabilidad)	Consistencia de los resultados a través de la aplicación rigurosa de los instrumentos.
Corfirmabilidad	Transparencia del proceso investigativo y respaldo de los hallazgos con evidencia verificable.
Ética	Consentimiento informado, confidencialidad de los participantes y uso responsable de la información.

11. Análisis y discusión de resultados

11.1. Información general de las familias

La tabla 4 presenta la distribución de los pequeños productores encuestados según los intervalos de edad, permitiendo identificar la concentración de participantes en los diferentes rangos de edad.

La distribución por rangos de edad evidencia que la mayor proporción de pequeños productores encuestados se concentra en los grupos etarios de 40–49 años y 60 años o más, cada uno con 32.5 % del total. En contraste, solo 7.5 % corresponde a productores menores de 30 años y un 10 % al rango de 30–39 años. Asimismo, el grupo de 50–59 años representa un 17.5 % de los encuestados. Estos datos reflejan un predominio de productores adultos y adultos mayores en la actividad agrícola del municipio, con una participación relativamente baja de personas jóvenes.

Tabla4

Rangos de edad de los productores encuestados

Intervalo de edad	Cantidad de productores	Porcentaje (%)
< 30 años	3	7.5 %
30–39 años	4	10.0 %
40–49 años	13	32.5 %
50–59 años	7	17.5 %
60 años o más	13	32.5 %

Como se observa en la tabla, la mayoría de los productores se encuentra en el rango entre 40 y 60 años de edad a más. Esto demuestra que la producción agrícola en el municipio sigue siendo desarrollada principalmente por personas adultas mientras que los jóvenes mostraron una participación menor.

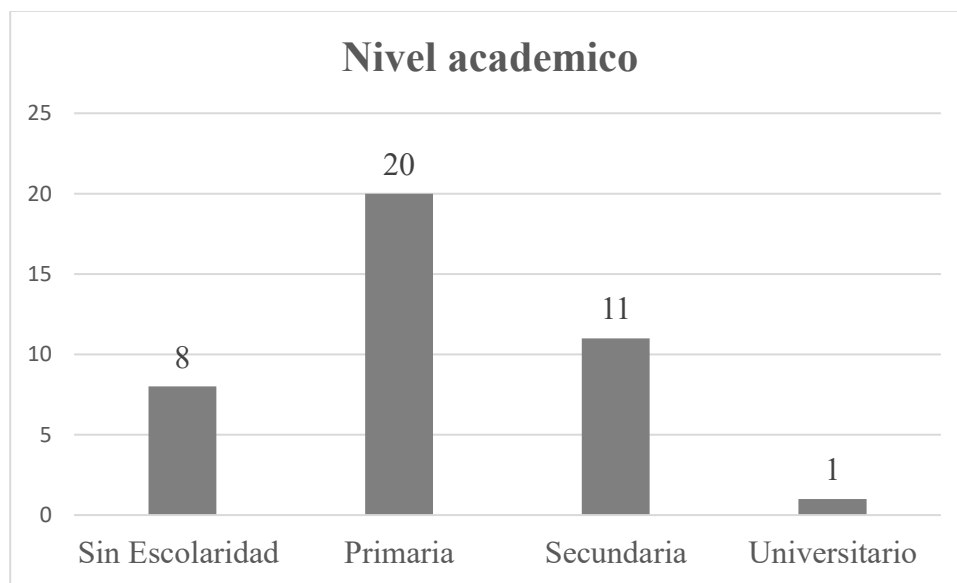
11.2. Caracterización educativa de los pequeños productores agrícolas

Los datos del gráfico 1 nos muestran que la mayoría de los productores encuestados cuentan con un nivel académico básico. El grupo más grande corresponde a quienes estudiaron primaria con 20 personas. Seguido de secundaria con 11 personas. También se observa que 8 productores no tienen escolaridad y solo 1 alcanzó estudios universitarios.

En general, estos resultados reflejan que el nivel educativo de los productores es limitado a lo que podría influir en la facilidad con la que adoptan nuevas herramientas tecnológicas relacionadas con la agricultura digital.

Gráfico 1

Nivel académico



11.3. Clasificación del nivel de conocimiento entre los productores

En el grafico 2 muestra el nivel de conocimientos que tienen los productores sobre el uso de herramientas digitales en el municipio de Esteli.

El figura presenta la distribución porcentual del nivel de conocimiento que poseen los productores con el uso de tecnologías digitales aplicadas a la agricultura. Al observar los resultados, se identifica que el 42.5 % de los encuestados se encuentra en el nivel 1, lo cual indica un conocimiento limitado o básico. Este porcentaje representa casi la mitad de los productores lo que evidencia que todavía existe una brecha importante en la comprensión Sobre herramientas digitales en el sector agrícola del municipio Estelí.

En contraste un 35 % se encuentra en el nivel 3, que corresponde a productores con un nivel intermedio de conocimiento. Este grupo demuestra mayor conocimiento sobre la agricultura digital lo cual puede estar asociado a capacitaciones o experiencias previas.

Por otro lado, únicamente el 20 % esta en el nivel 2, y solo un 2.5 % que esta en el nivel 4 que representa el nivel más alto de conocimiento.

En general el grafico evidencia que el conocimiento digital entre los productores heterogéneos pero con una concentración marcada en el niveles más bajos. Desde el punto de vista investigativo estos resultados permiten concluir que la adopción de tecnologías digitales se ve limitadas por el nivel de conocimiento lo cual da a conocer la falta de capacitaciones.

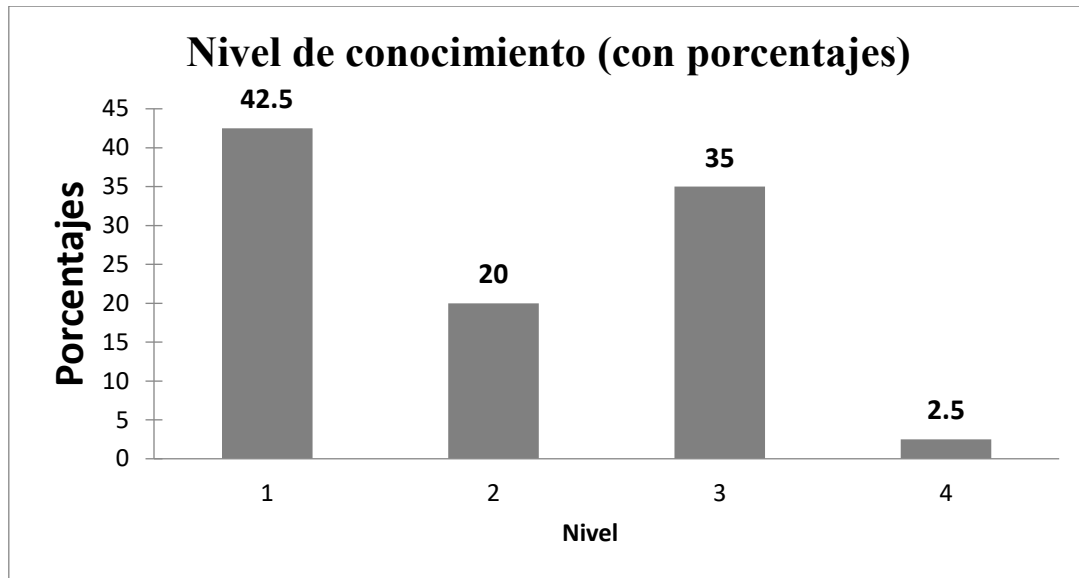
Para profundizar en como este perfil educativo afecta a la adopción tecnológica en el grupo focal se preguntó:

P1 ¿Cómo describirían su nivel de comodidad o confianza al usar un celular, una APP agrícola o un sensor de humedad?

Los participantes expresaron desconfianza y temor al mal uso, lo cual refuerza la necesidad de capacitación prácticas sobre estas tecnologías.

Gráfico 2

Nivel de conocimiento



En un estudio realizado por Abdulai et al. (2023) en Ghana, es muy similar a lo del municipio de Estelí porque en ambos casos hay un bajo nivel de alfabetización en los pequeños productores además de un bajo nivel de acceso a internet en las comunidades que quedan mas alejadas del centro del municipio.

11.4. Conocimiento previo del término “agricultura digital” entre los productores

En el grafico 3 podemos observar que en las encuestas realizadas se les preguntó a los productores si habían escuchado el termino agricultura digital. En la categoría 1, el 20 % de los productores mencionaron haber escuchado el termino de agricultura digital esto demuestra que una pequeña cantidad de productores tienen un poco de conocimientos.

Y en la categoría 2 el 80 % de los productores encuestados menciono no haber escuchado el termino agricultura digital. Esto demuestra que la gran mayoría de productores tiene un bajo conocimiento sobre este término, esto puede hacer referencia a un bajo nivel de uso o acceso a las nuevas tecnologías digitales.

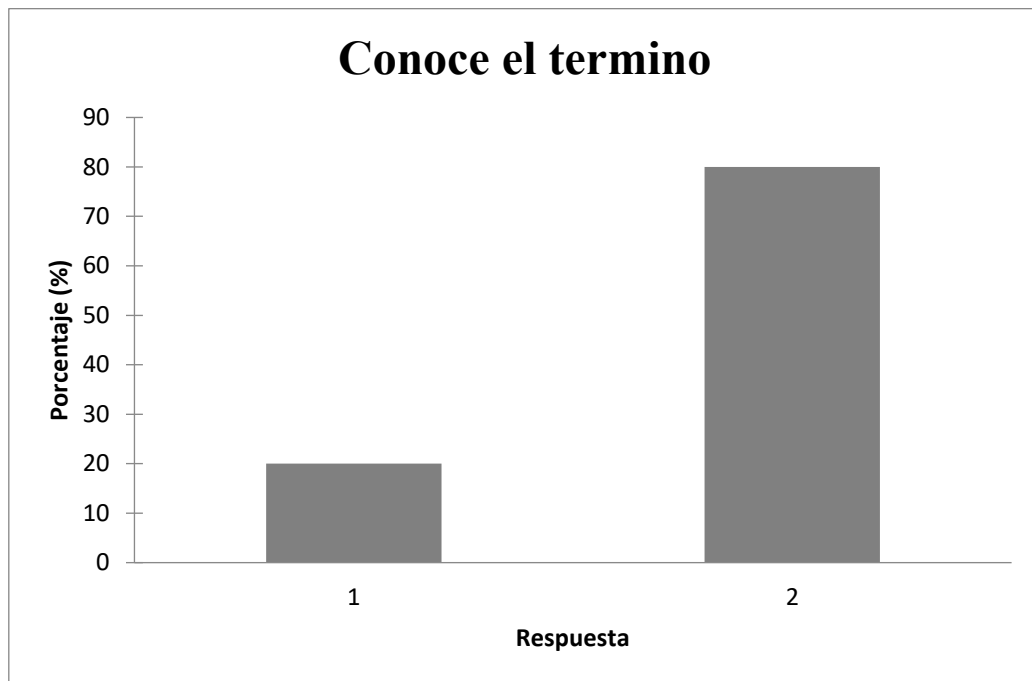
Generalmente en el grafico evidencia el poco conocimiento que los productores tienen sobre este término, hemos podido concluir que la gran mayoría de pequeños productores del municipio de Estelí carecen de conocimiento previo sobre dicho termino. Para explorar esta brecha, en el grupo focal se indagó:

P2 ¿Han recibido capacitaciones sobre herramientas digitales? ¿Qué tipo de apoyo le gustaría recibir?

La mayoría mencionó que las capacitaciones por parte del (INTA) pero una desventaja es que no abordan herramientas digitales validando las necesidades de formación específica.

Gráfico 3

Ha escuchado el termino agricultura digital



Esto se alinea perfectamente con hallazgo de Arangurí et al. (2025) en Perú quien identifica que la baja alfabetización digital es una barrera clave para la adopción de tecnología ya que genera desconfianza y limita el uso de herramientas innovadora. Ambos estudios concluyen que el escaso conocimiento digital es un obstáculo fundamental para los agricultores.

11.5. Nivel de adopción de tecnologías en labores agrícolas

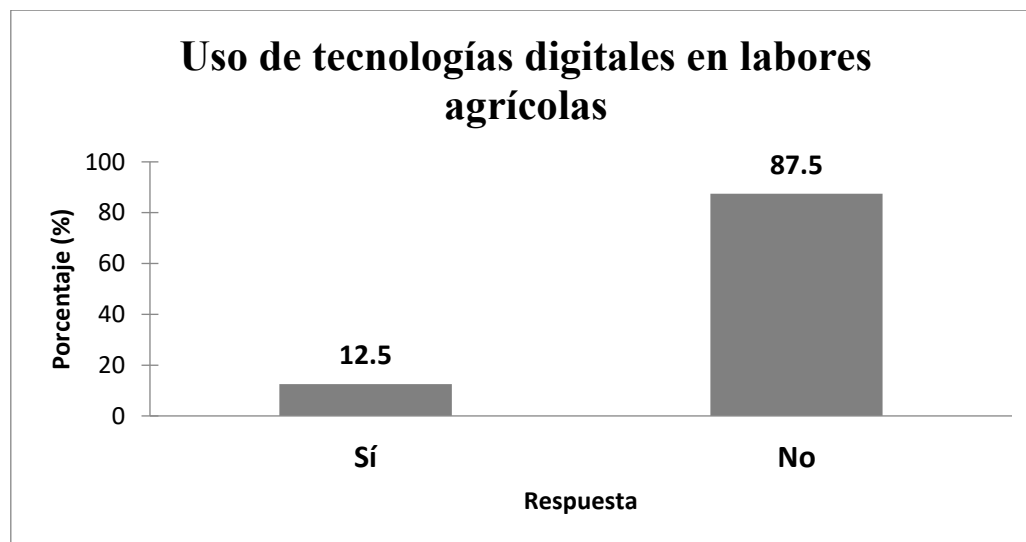
En este gráfico 4 se muestra el uso de herramientas digitales en labores agrícolas. La gran mayoría de productores representada por un 87.5 % afirmaron no utilizar ningún tipo de herramientas digitales esto puede deberse a que la mayoría de productores son de avanzada edad. Por el contrario de un 12.5 % que mencionaron que si utilizaban algún tipo de tecnología agrícola en sus labores esto hace referencia a los productores más jóvenes que encuestamos. Para entender esta baja adopción, se preguntó en el grupo focal:

P3 Ustedes mencionaron que el costo es una barrera. ¿Podrían explicar más sobre el cómo el costo afecta su decisión de usar tecnología?

Los productores destacaron que el costo compite con necesidades básicas como semilla y abono lo que explica la brecha entre disposición y adopción real de estas tecnologías.

Gráfico 4

Uso de tecnologías digitales



Esto coincide completamente con las barreras globales identificadas por Fragomeli et al. (2024) en Italia quien destaca el desconocimiento de los beneficios y el alto costo como los principales obstáculos. Ambos estudios concluyen que se necesita apoyo educativo y técnico en la formación de los pequeños productores.

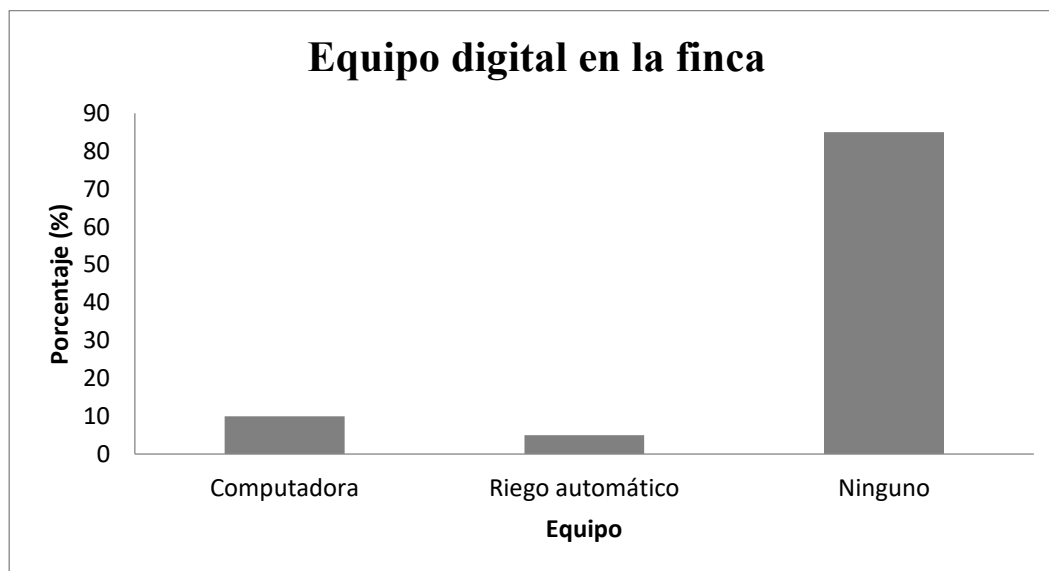
11.6. Uso de equipos digitales en las fincas de los encuestados

En el gráfico 5 se muestra los equipos digitales en las fincas de los encuestados. Se muestra que el 10 % de los encuestados cuentan con computadoras en sus fincas para algún trabajo. Un 5 % de los encuestados mencionaron tener riego automatizado en sus fincas. Además, el 85 % de los productores mencionaron no poseer ningún equipo digital en sus fincas esto puede deberse al alto costo o al desconocimiento de las nuevas tecnologías digitales.

Estos datos reflejan una amplia brecha tecnológica en el municipio de Estelí, la cual puede estar asociada principalmente a limitaciones económicas, desconocimiento de los beneficios de la tecnología y la falta de acceso a programas de apoyo tecnológico.

Gráfico 5

Equipos digitales



De forma similar izquierdo et al. (2025) en Ecuador quienes también reportan una adopción tecnológica limitada, señalando que los productores continúan usando practicas tradiciones en barreras como altos costos, la falta de capacitación y el poco apoyo institucional.

11.7. Formación y capacitación de agricultores en el municipio de Estelí

Los resultados de la tabla 5 muestran que la mayoría de productores han recibido capacitaciones de alguna institución. En este caso el 71.4 % de los productores mencionaron haber recibido capacitaciones por parte del INTA lo que evidencia su papel central en las capacitaciones a los pequeños productores agrícolas de municipio de Estelí.

Por otro lado, el 28.6 % recibió capacitaciones de parte de cooperativas, lo cual demuestra que estas instituciones cumplen un papel fundamental en la transferencia de conocimientos, pero a menor escala que el INTA.

No obstante, estas capacitaciones se enfocan principalmente en aspectos generales de la producción agrícola y no abordan directamente el uso de herramientas digitales, lo que evidencia una limitación en la formación tecnológica de los productores.

Es importante destacar que universidades y ONG no muestran participación en la capacitación de productores encuestados. Esto sugiere una baja diversificación institucional en los procesos de formación técnica.

Tabla 5

Capacitación en herramientas digitales

Capacitación / Institución	INTA	Cooperativa	Universidad	ONG	Otro
Sí (1)	71.4 %	28.6 %	0 %	0 %	0 %
No (2)	–	–	–	–	–

11.8. Barreras económicas y técnicas para la adopción digital

El grafico 6 muestra las principales dificultades que tiene los pequeños productores agrícolas para usar tecnologías digitales. El 70 % de los productores encuestados menciono que la principal dificultad para la adopción de estas nuevas tecnologías es el alto costo, lo que indica que la inversión inicial sigue siendo inaccesible para muchos de los pequeños productores.

El 25 % menciono igualmente que la falta de capacitación refleja que, algunos productores tienen el interés en adoptar nuevas tecnologías, solo que no tienen el conocimiento.

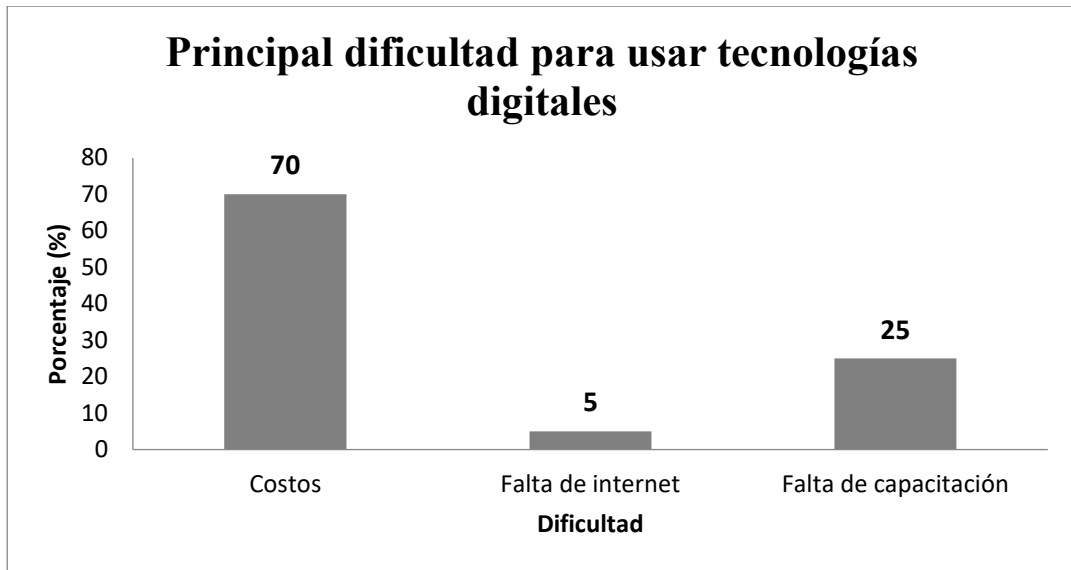
Finalmente, el 5 % de los productores mencionaron que su principal dificultad es la baja conectividad, lo que sugiere que en el municipio de Estelí la conectividad no es la mayor limitante como los costos y la falta de capacitación. Para triangular este hallazgo, en el grupo focal se profundizó con:

P4 Si tuvieran acceso a herramientas digitales sin costo inicial, ¿estarían dispuestos a probarla? ¿Bajo qué condiciones?

La respuesta fue afirmativa pero condicionada acompañamiento técnico garantía de soporte, alineado con el 95 % de los productores manifestó disposición a adoptar herramientas digitales siempre que sea asegure un respaldo técnico adecuado.

Gráfico 6

Principal dificultad para el uso de tecnologías



De forma similar el autor Dibbern et al. (2025) señala que, en Brasil la principal dificultad es la falta de conectividad. Esto evidencia que ambos estudios identifican barreras similares, la prioridad varía según el contexto territorial.

11.9. Disposición de productores a usar tecnologías digitales

En el gráfico 7 se les preguntó a los productores encuestados si probarían alguna tecnología digital si se las prestaran. El 95 % de los productores respondió que sí probaría una tecnología digital si se las prestaran esto demuestra que tienen iniciativa y ganas de utilizar tecnologías digitales. Mientras que solo un 2.5 % respondió que no, lo que demuestra que aún falta conocimiento sobre los beneficios de las nuevas tecnologías. Y el otro 2.5 % menciona que depende de factores como el acceso a las tecnologías.

Estos datos son clave ya que demuestra que existe interés, motivación y apertura al cambio por lo que la baja adopción actual no se debe a resistencia al cambio, sino principalmente a factores económicos y de acceso. Esta disposición es condicional punto en el grupo focal se exploró con:

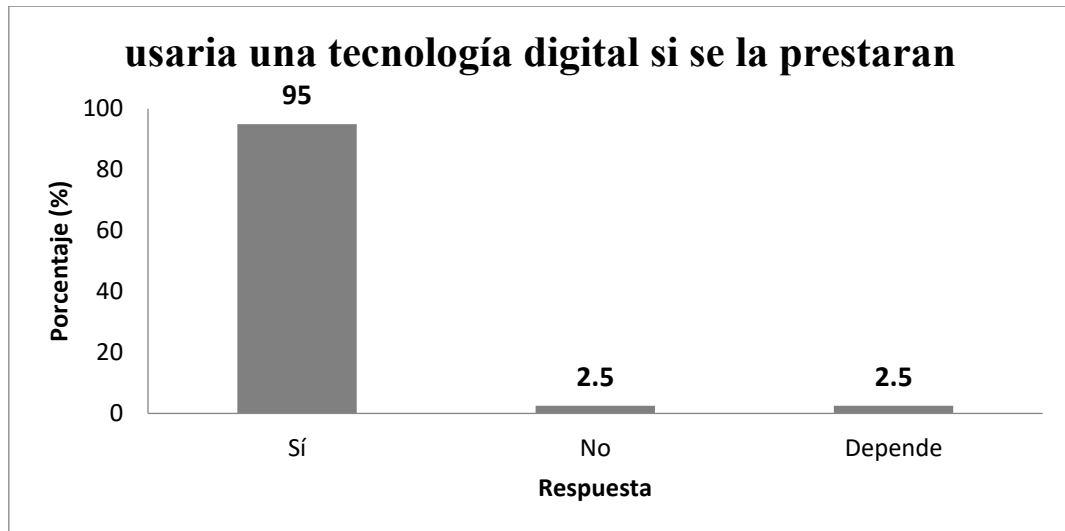
Aunque están dispuestos a probar la tecnología esta disposición es condicional. En el grupo focal se exploró con:

P5 ¿Qué beneficios esperarían obtener si usaran tecnología digital en su producción?

Los participantes esperaban ahorrar agua reducir pérdidas por clima y mejorar precios de venta lo cual valida los beneficios esperados en la encuesta que se realizó en las comunidades.

Gráfico 7

Disposición a usar tecnologías digitales



En contraste el artículo de Cui y Wang (2023) indica que, en china la adopción real de tecnología no depende solo de la disposición a aprobarla sino de factores más complejos como la rentabilidad económica la confianza en quienes proveen la tecnología y la gestión de algunos tipos de datos.

Así mientras nuestras encuestas miden la intención inmediata de usarla este artículo muestra la adopción sostenida requiere beneficios claros, confianza y condiciones adecuadas para los pequeños productores agrícolas del municipio de Estelí de forma permanente.

11.10. Estrategias para la integración de tecnologías digitales en pequeños productores del municipio de Estelí

1. Programa Integral de capacitación en agricultura digital (PICAD)

Fortalece capacidades técnicas mediante módulos de alfabetización digital básica, uso de aplicaciones móviles, sensores de humedad, riego eficiente y comercialización digital.

2. Parcelas demostrativas digitales (PDD)

Implementación de sensores de humedad, riego automatizado, aplicaciones móviles y monitoreo en comunidades rurales para validar tecnologías en campo.

Las estrategias se implementan en tres fases: inicial, intermedia y de escalamiento, incorporando indicadores económicos, sociales y ambientales para evaluar su impacto.

Estas acciones permiten una integración gradual, sostenible y contextualizada de tecnologías digitales, respondiendo directamente a los hallazgos del estudio.

Válida preferencia de aprendizaje que sustentan las estrategias propuestas (PICAD) parcela demostrativa.

P6 ¿Cómo creen que su comunidad o cooperativa podría organizarse para probar y compartir herramientas digitales entre varios productores?

Los participantes sugirieron la formación de grupos de apoyo comunitario y el aprendizaje entre pares lo cual refuerza la viabilidad de implementar las parcelas demostrativas y el PICAD de manera colaborativa con los pequeños productores.

11.10.1. Introducción

Los resultados del estudio evidenciaron que la adopción de tecnologías digitales entre los pequeños productores del municipio de Estelí es limitada debido principalmente al bajo nivel de conocimiento, altos costos de inversión y limitada oferta de capacitación técnica. No obstante, se identificó una alta disposición al cambio, pues el 95 % de los encuestados estaría dispuesto a probar tecnologías digitales si se les facilitara.

En este contexto, y conforme al objetivo específico “Proponer estrategias viables para integrar tecnologías digitales que contribuyan a la sostenibilidad económica, ambiental y social de la producción agrícola”, se presenta un conjunto de estrategias fundamentadas en la evidencia obtenida y diseñadas para adaptarse a las condiciones reales del territorio.

Las estrategias están orientadas a un proceso gradual, sostenible y acompañado, considerando la naturaleza económica de los pequeños productores, la brecha de alfabetización digital, la estructura productiva local y el rol de las instituciones presentes en el municipio Estelí.

11.10.2. Estrategias Propuestas

Estrategia 1. Programa integral de capacitación en agricultura digital (PICAD)

Objetivo

Fortalecer las capacidades técnicas de los pequeños productores para el uso básico y aplicado de tecnologías digitales en la agricultura.

Componentes

- Módulo 1: Introducción a agricultura digital y alfabetización digital básica
- Módulo 2: Uso de aplicaciones móviles para clima, plagas y manejo de cultivos
- Módulo 3: Sensores de humedad y riego eficiente
- Módulo 4: Uso de plataformas de comercialización digital
- Módulo 5: Gestión de datos agrícolas y trazabilidad básica

Actores claves

- UNAN
- INTA – Extensión rural
- Cooperativas locales
- Universidades aliadas (para prácticas de campo)

Contribución a la sostenibilidad

- Económica: Reduce pérdidas y mejora eficiencia del uso de insumos
- Ambiental: Aumenta eficiencia hídrica y sostenibilidad del suelo
- Social: Desarrolla capacidades locales y reduce brecha digital y técnica

Estrategia 2. Parcelas demostrativas digitales (PDD) en comunidades rurales

Objetivo

Validar y demostrar la utilidad real de tecnologías digitales en condiciones locales.

Actividades

- Instalación de sensores de humedad de bajo costo
- Implementación de riego automatizado por goteo
- Uso de aplicaciones móviles de monitoreo (Plantix, AgriApp)
- Registro de datos sobre humedad, riego, rendimiento y costos
- Jornadas demostrativas para productores de comunidades cercanas

Comunidades sugeridas

- San Nicolás
- La Montañita
- Miraflor
- El Limón
- San Pedro
- Isidriillo
- La Quinta
- Las Lajitas
- Isiqui

(Se adaptará a las comunidades donde se aplicó el estudio).

Contribución

- Económica: Incrementa rendimiento y reduce uso de insumos
- Ambiental: Optimiza uso de agua en zonas del corredor seco
- Social: Fomenta aprendizaje comunitario

11.10.3. Implementación gradual y sostenible

Proponer tecnologías sin considerar su costo y complejidad sería inviable para productores de pequeña escala. Por ello, las estrategias se implementan en tres fases:

Fase 1 (0–6 meses)

- Alfabetización digital básica enfocada en el uso de herramientas esenciales.
- Formación inicial en el manejo de datos y monitoreo ambiental.
- Organización de grupos comunitarios y equipos técnicos locales.
- Selección de sitios pilotos para validar las estrategias.

Fase 2 (6–12 meses)

- Instalación de equipos básicos de medición y seguimiento.
- Puesta en marcha de sistemas de registro y análisis de información.
- Inicio de la aplicación práctica de las estrategias en condiciones reales.
- Integración de herramientas digitales en los procesos productivos.

Fase 3 (12–24 meses)

- Consolidación de aprendizaje y ajuste basado en resultados.
- Expansión del modelo a nueva zona o grupo de productores.
- Fortalecimiento de la autonomía local en gestión de tecnología.
- Evaluación de impacto y sostenibilidad a mediano plazo.

P7 Pensando a futuro, si la tecnología digital llegara a usarse regularmente aquí, ¿Qué creen que se necesitaría para que no dependa siempre de ayuda externa y ustedes mismos puedan mantenerla y sacarle provecho?

Esta pregunta reveló que los productores visualizan la tecnología como una herencia útil solo si es económicamente auto sostenible, fácil de mantener y enseñable a las nuevas generaciones. Sus respuestas refuerzan la necesidad de que las estrategias (PICAD y PDD) incluyan componentes de mantenimiento local, bajo costo recurrente y transmisión

intergeneracional del conocimiento, asegurando que la innovación perdure más allá de proyectos externos.

11.10.4. Indicadores de evaluación

Para garantizar validez y posibilidad de seguimiento, se proponen indicadores por dimensión:

Económica

- % reducción en uso de agua y fertilizantes
- % mejora en rendimiento por manzana
- % de productores que reducen costos de producción

Social

- N.º de productores capacitados por módulo
- N.º de mujeres y jóvenes incorporados
- Nivel de adopción tecnológica (escala 1–5)

Ambiental

- % reducción de pérdidas por variabilidad climática
- N.º de parcelas con riego eficiente
- Aumento de eficiencia hídrica del suelo

11.10.5. Conclusión de las estrategias

Las estrategias presentadas permiten dar salida completa al objetivo específico 3, ya que:

En resumen, las dos estrategias buscan modernizar la agricultura usando tecnología accesible y datos en tiempo real. Su implementación por fase asegura que los productores

aprendan y se adapten sin presión Esto les permitirá ser más eficientes, tomar mejores decisiones y enfrentar mejor los retos climáticos y económicos.

Estas acciones ofrecen una ruta concreta y progresiva hacia la implementación de agricultura digital en pequeños productores, aportando a la sostenibilidad y al desarrollo rural en el municipio.

12. Conclusiones

La integración de los datos de las encuestas reveló una disposición general hacia estas tecnologías, pero con preocupaciones relacionadas con el costo y la complejidad. Los hallazgos del grupo focal destacaron la necesidad de herramientas simples y de utilidad inmediata, lo cual permitió adaptar y validar las estrategias propuestas. En primer lugar, se confirma la implementación gradual con la fase 1 ampliada de capacitación cumpliendo con el objetivo de fortalecer las capacidades digitales básicas de manera realista.

En segundo lugar, se priorizará el uso de tecnología de bajo costo y alta usabilidad como sistema de alerta vía SMS o WhatsApp para asegurar su adopción efectiva y resolver necesidades puntuales expresadas por los productores.

Finalmente, y alineado con el tercer objetivo estas estrategias se orientarán hacia la sostenibilidad integral donde lo digital sirve para optimizar recursos ambientales, reducir pérdidas económicas y fortalecer el conocimiento colectivo y la organización local.

En síntesis, la viabilidad de las estrategias no depende sólo de su diseño técnico sino de su capacidad de respuesta ante las realidades y voces de los productores. La combinación de datos cuantitativos y cualitativo ha permitido construir una propuesta más humana conceptualizada y sostenible que pone a las personas en el centro del cambio tecnológico, asegurando que la innovación llega al campo de manera útil apropiada y duradera.

13. Recomendaciones

- Diseñar e implementar un programa de alfabetización digital agrícola gradual y práctico.
- Establecer un sistema de financiamiento comunitario y acceso a tecnologías.
- Crear parcela demostrativa y redes de productores pioneros.
- Fortalecer la articulación institucional entre INTA, cooperativas, universidades y proveedores de TIC.
- Desarrollar e implementar un plan piloto municipal de Agricultura digital.

14. Referencias

- Abdulai, A.-R., Tetteh Quarshie, P., Duncan, E., & Fraser, E. (2023). Is agricultural digitization a reality among smallholder farmers in Africa? Unpacking farmers' lived realities of engagement with digital tools and services in rural Northern Ghana. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00416-6>
- A.r, A., N, H., K, C. K., M, S., & G, M. K. (2024). Laboratory Evaluation of Soil Moisture Sensors for Precision Irrigation in Agriculture. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(8), 321–332. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i84353>
- Arangurí, M., Mera, H., Noblecilla, W., & Lucini, C. (2025). Digital Literacy and Technology Adoption in Agriculture: A Systematic Review of Factors and Strategies. *AgriEngineering*, 7(9), 296. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7090296>
- Cabezas, E. E. S., Tinoco, Y. D. R. C., & Enríquez, M. Á. A. (2024). Transformación digital en la comercialización agroempresarial: Oportunidades y desafíos para los pequeños productores. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(1), 1337–1344. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/434>
- Carrillo Riofrío, F. M., Segovia Cáceres, S. M., & Jijon Paredes, E. M. (2021). La Innovación en la Agricultura Digital. *Dominio de las Ciencias*, 7(3), 1652–1658.
- Celis, P. (2019). *Potenciales efectos de la agricultura digital sobre el mercado laboral agropecuario: Revisión bibliográfica de análisis y estudios empíricos nacionales e internacionales*. Opia.CL: Observatorio para la Innovación Agraria, Agroalimentaria y Forestal. <https://opia.fia.cl/601/w3-article-123149.html>
- CEPAL. (2019). *Foro de los Países de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenible 2019 [álbum fotográfico]*. <https://hdl.handle.net/11362/45139>
- CEPAL. (2022). *Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022—2026 de Nicaragua | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo*. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-de-lucha-contra-la-pobreza-y-para-el-desarrollo-humano-2022-2026-de-nicaragua>
- CONtexto Ganadero. (2025). *CONtexto Ganadero*. <https://www.contextoganadero.com/>
- Cui, L., & Wang, W. (2023). Factors Affecting the Adoption of Digital Technology by Farmers in China: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 15(20), 14824. <https://doi.org/10.3390/su152014824>

- Dibbern, T., Romani, L., & Massruhá, S. (2025). Drivers and Barriers to Digital Agriculture Adoption: A Mixed-Methods Analysis of Challenges and Opportunities in Latin American. *Sustainability*, *17*(8), 3676. <https://doi.org/10.3390/su17083676>
- FAO. (2021). *Home | Agro-informatics | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. AgroInformatics. <http://www.fao.org/agroinformatics/en>
- FAO. (2022). *The State of Food and Agriculture 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9479en>
- FAO. (2025). *Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2025. Abordar la degradación de las tierras en todas las escalas de tenencia*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd7071es>
- Fragomeli, R., Annunziata, A., & Punzo, G. (2024). Promoting the Transition towards Agriculture 4.0: A Systematic Literature Review on Drivers and Barriers. *Sustainability*, *16*(6), 2425. <https://doi.org/10.3390/su16062425>
- Gallear, J. W., Valadares Galdos, M., Zeri, M., & Hartley, A. (2025). Evaluation of machine learning approaches for large-scale agricultural drought forecasts to improve monitoring and preparedness in Brazil. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *25*(4), 1521–1541. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-1521-2025>
- Gao, Y., & Li, G. (2022). A New GNSS Spoofing Signal Power Control Algorithm for Receiver Sensors in Acquisition Phase and Subsequent Control. *Sensors*, *22*(17), 6588. <https://doi.org/10.3390/s22176588>
- Giron Erazo, W. J. (2023). *Evaluación de sensores de humedad de suelo de bajo costo con fines de aplicación al riego eficiente*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/27507>
- Gómez, M. A. G., & Pacheco, M. E. P. (2021). Innovaciones ofertadas por los actores agropecuarios del pacífico sur de Nicaragua y su implementación en los sistemas de producción de la agricultura familiar período 2015-2020. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, *11*(2), 13–27. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v11i2.13015>
- Gumbi, N., Gumbi, L., & Twinomurizi, H. (2023). Towards Sustainable Digital Agriculture for Smallholder Farmers: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, *15*(16), 12530. <https://doi.org/10.3390/su151612530>

- Hernández, S., & Mendoza. (2018). *Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta | RUDICS.* <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- INIDE. (2022). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos- INEC de Nicaragua.* <https://www.inide.gob.ni/docu/cenagro/perfiles.htm>
- Izquierdo, J. A., JARAMILLO, Loja, N. M., Mazon-Olivo, B., Izquierdo, J. A., JARAMILLO, Loja, N. M., & Mazon-Olivo, B. (2025). Modelo integrado de adopción de tecnologías en la agricultura. Caso de estudio: IA e IoT aplicadas en producción de cacao. *Revista Espacios*, 46(3), 485–497. <https://doi.org/10.48082/espacios-a25v46n03p38>
- Lancheros Florián, L. C. (2012). *Investigación no Experimental.* <https://repositorio.konradlorenz.edu.co/handle/001/2317>
- León López, R., & Victorino Ramírez, L. (2024). Implicaciones en Adoptar la Agricultura Digital. Una Visión Genérica. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 8(2), 6818–6826.
- Lopez, M. (2004). (PDF) *The mapping of the agricultural innovation system in Nicaragua.* ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/228828822_The_mapping_of_the_agricultural_innovation_system_in_Nicaragua
- Massruhá, S. M. F. S., & Leite, M. A. de A. (2016). Agricultura Digital. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, 2(1), 72–88.
- Nagel, J. (2012). *Principales barreras para la adopción de las TIC en la agricultura y en las áreas rurales.* <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/48808>
- Nieuwkoop, M. van, & Nieuwkoop, M. van. (2025, enero 10). Comment: How empowering smallholder farmers with AI tools can bolster global food security. *Reuters*, 3.
- Ortiz, M. (2024, octubre 11). Marketplaces, la transformación comercial con un solo ‘clic’. *Redagícola.* <https://redagricola.com/marketplaces-la-transformacion-comercial-con-un-solo-clic/>
- Plantix: Aplicación de diagnóstico y seguimiento de la salud de los cultivos - agtecher: The Agri Tech Place. (2024, octubre 14). *agtecher: El lugar de la agrotecnología.* <https://agtecher.com/es/producto/plantix/>

- Praneeth, M., S, A. K., & S, S. R. (2023). Perceived Effectiveness of the Mobile Applications in Agriculture in Terms of Availability, Acceptance, Usage and Satisfaction. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 41(11), 19–28. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2023/v41i112257>
- Ramírez-Gómez, C. J., & Cuevas Reyes, V. (2023). Redes de información y sistemas de innovación agrícolas. Hacia un nuevo enfoque de la extensión rural local. *Economía Agraria y Recursos Naturales*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.336047>
- Ropa-Carrión, B., Carranza-López, A. O., Alama-Flores, M., Flores-Arteaga, A. M., & Ruiz-Espinoza, J. E. (2025). Los procesos de investigación científica en las ciencias sociales. *Revista científica en ciencias sociales*, 7, 01–20. <https://doi.org/10.53732/rccsociales/e701201>
- Salvatierra, M. (2025). *Impacto de la agricultura de precisión en la sostenibilidad ambiental en el Ecuador*. <https://dspace.utb.edu.ec/items/30caeb0d-d800-40fd-ae92-f8dc7dccb1a7>
- Šermukšnytė-Alešiūnienė, K., & Melnikienė, R. (2024). The Effects of Digitalization on the Sustainability of Small Farms. *Sustainability*, 16(10), 4076. <https://doi.org/10.3390/su16104076>
- Torres, P. P. B., & Meza, J. R. (2019). Percepción actual y perspectiva del sistema nicaragüense de investigación e innovación agropecuaria 2019 – 2021. *La Calera*, 19(33), 97–106.
- Trendov, N. M., Varas, S., & Zeng, M. (2019). *Digital technologies in agriculture and rural areas: Status report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Trivelli, C. (2020). *Inclusión financiera en el 2020. Persistentes brechas de género*. Instituto de Estudios Peruanos. <https://hdl.handle.net/20.500.14660/1205>
- Valdez, A. A. M. (2023). Inclusión Digital de Pequeños Productores Agropecuarios: Un enfoque para mejorar la competitividad y sostenibilidad en el sector agrícola. *Revista Científica Multidisciplinaria Jetypeka*, 3(2), 117–128. <https://doi.org/10.64660/jetypeka.v3i2.84>
- Vieites, A. (2017). *Pequeños productores agropecuarios: Importancia económica y social. 1*.

-

[https://sidi.unsam.edu.ar/ediciones/files/2017/Resumen %20- %20Peque %C3 %B1 os %20productores %20econom %C3 %ADa %20\(Vieites\).pdf](https://sidi.unsam.edu.ar/ediciones/files/2017/Resumen%20-%20Peque%C3%B1os%20productores%20econom%ADa%20(Vieites).pdf)

Vivas Viachica, E., Herrera Ampie, J. del C., & Avilés Sequeira, A. (2010). Evaluación del impacto en seguridad alimentaria del proyecto escuelas de campo (ECAs), dirigido a pequeñas familias campesinas de las comunidades El Terrero y El Mamey del Municipio de San José de Cusmapa, Madriz. *La Calera*, 10(15), 62–68.

World Bank. (2019, abril 25). *Future of Food: Harnessing Digital Technologies to Improve Food System Outcomes* [Text/HTML]. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/publication/future-of-food-harnessing-digital-technologies-to-improve-food-system-outcomes>

15. Anexos

Anexo A

Encuesta potencial de la agricultura digital para la sostenibilidad productiva con pequeños productores de 10 comunidades seleccionadas de Estelí, Nicaragua 2025.

Introducción

Somos estudiantes de la carrera de Ingeniería Agronómica de la UNAN-Managua, Cur-Estelí. Estamos realizando nuestra monografía para optar al título de Ingeniero Agrónomo. El tema de nuestra investigación es potencial de la agricultura digital para la sostenibilidad productiva con pequeños productores de 10 comunidades seleccionadas de Estelí, Nicaragua 2025.

El objetivo principal de este estudio es analizar potencial de la agricultura digital para la sostenibilidad productiva con pequeños productores de 10 comunidades seleccionadas de Estelí, Nicaragua 2025.

La información que usted nos brinde será utilizada únicamente con fines académicos y se manejará de manera confidencial. Agradecemos mucho su colaboración.

Consentimiento informado

Estimado(a) productor(a):

Por medio de este documento le informamos que estamos realizando un estudio sobre el uso de tecnologías digitales en la agricultura. Su participación consiste en responder algunas preguntas relacionadas con el tema. No existen riesgos por participar y puede decidir no continuar si así lo desea.

Toda la información que nos proporcione será tratada con confidencialidad y solo se usará con fines educativos. Su apoyo es muy importante para el desarrollo de esta investigación.

¿Acepta participar en este estudio?

Sí (continuar con la encuesta) No (finalizar)

Comunidad / municipio: _____

Firma del participante (opcional): _____

Firma del encuestador: _____

Fecha: ____ / ____ / ____

Cuerpo de la encuesta

A. Datos sociodemográficos

Edad: ____

Sexo: Masculino Femenino

Nivel académico: Primaria Secundaria Técnico Universidad

¿Cuántos años lleva trabajando en la finca? ____

Área total de la finca (manzanas): ____

Principales cultivos: Frijol Maíz Papa Tabaco Tomate Otro: _____

¿Cuenta con fuentes de agua en la finca? Sí No

Si sí, tipo: Superficial Subterránea Ambas

B. Conocimiento sobre agricultura digital

¿Ha escuchado el término “agricultura digital”? Sí No

¿Conoce o ha visto alguna de las siguientes herramientas digitales?

Sensores de humedad Aplicaciones móviles agrícolas Drones / GPS

Sistemas de riego automatizado Estaciones meteorológicas Ninguna

¿Cuál considera que es su nivel de conocimiento respecto al uso de las tecnologías digitales para la producción agrícola?

Nada Poco Regular Bastante Mucho

C. Acceso y uso de tecnologías

¿Cuenta con celular inteligente en su hogar? Sí No

¿Tiene acceso a internet en su comunidad o finca?

Sí No Detalle _____

¿Tiene en la finca algún equipo digital?

Sensor de humedad Computadora / Tablet Sistema de riego automatizado

Ninguno Detalle

¿Utiliza actualmente alguna tecnología digital en sus labores agrícolas? Sí No

Si usa, ¿para qué la utiliza principalmente?

Planificación de siembra Manejo del riego Control de plagas

Comercialización Registro/productividad

Frecuencia de uso: Diario Semanal Mensual Ocasional

¿Ha recibido capacitación sobre herramientas digitales? Sí No

¿quién la impartió? INTA Cooperativa Universidad ONG Otro: _____

D. Barreras y apoyo necesario

¿Cuál considera la principal dificultad para usar tecnologías digitales?

Costos elevados Falta de internet Falta de capacitación Desconfianza

Otro: _____

¿Qué tipo de apoyo considera más útil para adoptarlas?

Capacitaciones Financiamiento Mejorar conectividad Asistencia técnica

Información sobre mercados

E. Disposición y percepción

¿Participaría en capacitaciones sobre agricultura digital? Sí No Quizás

¿Probaría una tecnología digital una temporada? Sí No Depende

¿Qué beneficios espera obtener con estas tecnologías?

Reducir costos Aumentar rendimiento Ahorrar agua Mejorar comercialización Menos pérdidas por plagas

¿Cree que las herramientas digitales pueden reducir el uso de agua o agroquímicos? Sí No No sabe

F. Pregunta abierta

¿Qué tipo de herramientas tecnológicas cree que sería más útil para su finca o producción?

Anexo B

Preguntas grupo focal

P1 ¿Cómo describirían su nivel de comodidad o confianza al usar un celular, una APP agrícola o un sensor de humedad?

P2 ¿Han recibido capacitaciones sobre herramientas digitales? ¿Qué tipo de apoyo le gustaría recibir?

P3 Ustedes mencionaron que el costo es una barrera. ¿Podrían explicar más sobre el cómo el costo afecta su decisión de usar tecnología?

P4 Si tuvieran acceso a herramientas digitales sin costo inicial, ¿Estarían dispuestos a probarla? ¿Bajo qué condiciones?

P5 ¿Qué beneficios esperarían obtener si usaran tecnología digital en su producción?

P6 ¿Cómo creen que su comunidad o cooperativa podría organizarse para probar y compartir herramientas digitales entre varios productores?

P7 ¿Qué creen que se necesitaría para que no dependa siempre de ayuda externa y ustedes mismo puedan mantenerla y sacarle provecho por sí mismos?







¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



